

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE
FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

OPTIMALIZACE VÝROBY TĚŽKÝCH OCELOVÝCH ODLITKŮ

OPTIMIZATION OF HEAVY STEEL CASTINGS

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Bc. VÍTĚZSLAV PERNICA

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

doc. Ing. JAROSLAV ŠENBERGER,
CSc.

BRNO 2009

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav strojírenské technologie

Akademický rok: 2008/2009

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

student(ka): Bc. Vítězslav Pernica

který/která studuje v **magisterském navazujícím studijním programu**

obor: **Slévárenská technologie (2301T014)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

Optimalizace výroby těžkých ocelových odlitků

v anglickém jazyce:

Optimation of heavy steel castings

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Při výrobě zejména středně těžkých a těžkých odlitků z oceli je obtížné dosáhnout požadované povrchové a vnitřní jakosti odlitku přímo po odlití. Vnitřní a povrchová jakost odlitku je dosahována opravami vad. Opravy vad zvyšují náklady a prodlužují výrobní časy. Je proto žádoucí optimalizovat výroby forem a způsob odlévání tak, aby se vznik vad minimalizoval. Práce je zadána pro podmínky DSB Euro s. r. o. a bude řešena ve spolupráci s uvedeným podnikem.

Cíle diplomové práce:

Cílem práce je sledovat výrobní technologii u vybraných odlitků od přípravy formovacího materiálu a tekutého kovu, přes výroby forem a odlévání po čistírnu. Příčiny vad zjištěné po odlití analyzovat na základě informací o výrobě odlitku. Přínosem práce bude výběr parametrů výroby, které mají vliv na tvorbu uvedených vad, jejich kvantifikace a využití ke statistické analýze. Na základě statistické analýzy a rozboru fyzikálně chemických zákonitostí reakce kovu s atmosférou a formou přispět k objasnění příčin uvedených vad a formulovat nápravná opatření.

Seznam odborné literatury:

1. ELBEL, T., aj. Vady odlitků ze slitin železa. 1. vyd. Brno: MATECS, 1992. 320 s.
2. ELBEL, T., aj. Study of the occurrence suppression of metal reoxidation in ferrous castings. In Proceedings of the 67th World Foundry Congress. Londýn: WFO, Anglie, 2007, p. 94/1–94/10.
3. ŠENBERGER, J. a ZÁDĚRA, A. a LÁNA, I. Aktivita kyslíku v litinách během udržování na teplotě v peci, odlévání a chladnutí kovu ve formě. In Sborník referátů - Mezinárodní konference "Výzkum a vývoj ve slévárenství". VŠB - Technická univerzita Ostrava, Česká republika, s. 95–103. ISBN 80-248-0899-4.
4. ŠENBERGER, J. a ZÁDĚRA, A. a ELBEL, T. Aktivita kyslíku v litinách během tavení a odlévání. Slévárenství. Červenec 2005, roč. LIII, č. 7–8, s. 308–312. ISSN 0037-6825.
5. ZÁDĚRA, A. Sekundární oxidace oceli. Disertační práce v oboru "Strojírenská technologie". Brno: VUT-FSI, Ústav strojírenské technologie. 2008. 107 s.

Vedoucí diplomové práce: doc. Ing. Jaroslav Šenberger, CSc.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2008/2009.

V Brně, dne 18.11.2008

L.S.

doc. Ing. Miroslav Píška, CSc.
Ředitel ústavu

doc. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.
Děkan fakulty

ABSTRAKT

Práce se zabývá metodikou výzkumu příčin vad u ocelových odlitků vyrobených ve slévárně DSB EURO s.r.o. Cílem bylo optimalizovat výrobní parametry tak, aby se snížil výskyt povrchových vad na odlitcích. V první fázi byly vady identifikovány, popsány a poté zjišťovány mechanismy jejich vzniku, včetně vytyčení hlavních faktorů ovlivňující jejich rozsah. Kvantifikace vad se prováděla měřeními obsahů a objemů vydrážkovaných vad. Vedle povrchových vad byl ve větší míře zjištěn výskyt vad porušení souvislosti. Závěrem pak byla na základě uvedených postupů navržena nápravná opatření.

Klíčová slova

Ocelové odlitky, vady odlitků, identifikace vad odlitků, sekundární oxidace, aktivita kyslíku

ABSTRACT

Diploma thesis deal with defining the causes of steel castings defects in the DSB EURO s.r.o Foundry. The main target is to optimise technological parameters for avoiding the surface casting defects. The first stage is the identification of the defects, describing of the main reasons and mechanic. Defect quantification is made from measuring of area and volume of the mended defects. In association with surface defects, the number of the crackings was observed. Finally there are suggested correction actions based on the previous investigation.

Key words

Steel castings, casting defects, identification of casting defects, secondary oxidation, oxygen activity

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

PERNICA, V. *Optimalizace výroby těžkých ocelových odlitků*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2009. 63 s. Vedoucí diplomové práce doc. Ing. Jaroslav Šenberger, CSc.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma Optimalizace výroby těžkých ocelových odlitků vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který je součástí této práce.

V Brně dne 29.5.2009

.....
Vítězslav Pernica

Poděkování

Děkuji tímto doc. Ing. Jaroslavu Šenbergerovi, CSc. za cenné připomínky a rady při vypracování diplomové práce.

Děkuji tímto rovněž Ing. Antonínu Záděrovi, Ph.D. za cenné rady a konzultace.

Poděkování patří také slévárně DSB EURO s.r.o., která umožnila experiment provést ve svém prostředí, zejména vedoucímu projektu Ing. Pavlu Veselému a Ing. Lukáši Hřebíčkoví za jejich obětavost při poskytování informací.

OBSAH

Abstrakt.....	4
Prohlášení.....	5
Poděkování.....	6
Obsah	7
1. ÚVOD	9
2. CÍL PRÁCE	10
3. VADY ODLITKŮ.....	11
3.1 Identifikace vad odlitků	13
3.2 Způsoby zjišťování vad odlitků.....	14
3.3 Určení příčiny vady	16
3.4 Základní postup při určování vad.....	16
4. FREKVENTOVANÉ VADY.....	18
4.1 Sekundární struskovitost (512)	18
4.1.1 Příčina vzniku sekundární struskovitosti	18
4.1.2 Charakter a identifikace vady	19
4.2 Bubliny (412).....	20
4.2.1 Příčina vzniku endogenních bublin	20
4.2.2 Identifikace bublin	21
4.2.3 Zahlcený plyn (414) a síťkovité bubliny (415)	22
4.3 Odvařeniny (430).....	23
4.3.1 Příčiny odvaření	23
4.3.2 Zjištění odvaření.....	25
4.4 Povrchové připečeniny (212)	25
4.4.1 Příčina vzniku povrchové připečeniny	25
4.4.2 Zjištění vady	26
4.5 Experimentální metody pro zjišťování procesu reoxidace	26
5. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST	28
5.1 Použité technologie a podmínky výroby	29
5.1.1 Formovací směs	29
5.1.2 Nátěr pro formy a jádra	30
5.1.3 Formování.....	30
5.1.4 Výroba kovu a odlévání.....	32
5.2 Metodika měření	34
5.2.1 Měření plochy vady po vydrážkování	34
5.2.2 Měření objemu vady po vydrážkování	35
5.2.3 Určení spotřeby svarového kovu.....	35
5.2.4 Měření aktivit kyslíku v peci a pánvi.....	36
5.2.5 Měření aktivit kyslíku během odlévání	36
5.2.6 Chemické složení kovu při tavbě a po odpichu	37
5.2.7 Chemické složení kovu v přilítných vzorcích po ztuhnutí	37
5.2.8 Kontrola filtrů	38

6. ZPRACOVÁNÍ VÝSLEDKŮ EXPERIMENTÁLNÍCH MĚŘENÍ	39
6.1 Vyhodnocení parametrů ve výrobě	39
6.1.1 Forma.....	39
6.1.2 Kov.....	40
6.2 Vyhodnocení ploch a objemů	41
6.3 Vyhodnocení aktivit kyslíku.....	43
6.4 Vyhodnocení změny chemického složení	46
6.5 Vyhodnocení filtrů	47
6.6 Vyhodnocení zjištěných vad	49
7. DISKUSE VÝSLEDKŮ EXPERIMENTÁLNÍCH MĚŘENÍ	54
7.1 Ekonomické hodnocení	57
8. NÁVRH NÁPRAVNÝCH OPATŘENÍ	59
9. SHRUTÍ A ZÁVĚR	60
10. SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	61
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	63
SEZNAM PŘÍLOH	63
PŘÍLOHY	64

1. ÚVOD

Podstatným rysem slévárenské výroby je skutečnost, že výsledek práce - odlitek, je více než v jiných odvětvích ovlivněn lidským faktorem. Neochota pracovat v těžkém prostředí a vykonávat fyzickou a technicky náročnou práci v tomto oboru způsobuje nedostatek kvalifikovaných odborníků, se kterým se potýká mnoho sléváren. Tato okolnost se přirozeně odráží v konečné jakosti vyráběných odlitků, které jsou vždy více či méně postiženy vadami [1,2].

Vady odlitků mohou být konečným důsledkem nedokonalých a zastaralých technologií, nekázně i nedodržování příslušných výrobních postupů, nízké úrovně organizace a řízení ve slévárně. Vedle ztrát zisku slévárny způsobují vady odlitků i mnohá nedorozumění mezi zákazníkem a dodavatelem, která mohou vést ke ztrátě trhu [1]. Je nezbytné a nutné se vadami, jejich klasifikací, způsoby jejich identifikace a objasnění příčin zabývat, aby mohly být odstraněny a četnost jejich výskytu byla minimalizována [2].

Předložená diplomová práce je dílčí součástí projektu *FT-TA5/089 - Výzkum a vývoj nové technologie odlévání železa*, řešeného ve slévárně DSB EURO s.r.o. a spoluřešitelem VŠB TU Ostrava a dále ve spolupráci s VUT Brno. Projekt se zabývá výzkumnou činností, která si klade za cíl vytvoření nové technologie vedoucí ke snížení rozsahu vad ocelových odlitků způsobených sekundární oxidací kovu (reoxidací) během odlévání. Verifikací nových metod sledování a měření rozsahu vad a realizace nové technologie [3].

2. CÍL PRÁCE

Náplní práce bylo sledovat výrobní technologii u série 10-ti armaturních odlitků od přípravy formovacího materiálu, tekutého kovu, přes výrobu forem, odlévání až po čistírnu ve slévárně DSB EURO s.r.o. Objevené povrchové vady pak kvantifikovat a analyzovat na základě informací o výrobě odlitků a vybrat parametry, které mají vliv na jejich vznik.

Cílem práce bylo:

- Zjistit rozsah vad a určit technologické vlivy podílející se na jejich vzniku
- Určit typ vady a zařadit je do klasifikace vad [1]
- Navrhnout metodiku měření pro určení rozsahu vad, která by umožnila na základě statistické analýzy určit vlivy technologických parametrů podílejících se na příčině vzniku vad
- Z výsledků navrhnout nápravná opatření

Předpokládá se, že slévárna bude nadále vyrábět armaturní odlitky a dosažené výsledky napomohou při dalším výzkumu na geometricky podobných odlitcích.

3. VADY OCELOVÝCH ODLITKŮ

Termín vada odlitku má ve slévárenství podmíněný význam. Vadou odlitku se rozumí každá odchylka rozměru, hmotnosti, vzhledu, tvaru, struktury, celistvosti, chemického složení a vlastností (mechanických, fyzikálních) od příslušných norem, standardů, výkresů, a technických podmínek.

Vady na odlitcích mohou být *zjevné* nebo *skryté*. Zjevné jsou vady odhalitelné pouhým okem nebo jednoduchými pomocnými měřidly, kdežto skryté je možno zjistit až po obrobení odlitku či jinými speciálními měřidly, prostředky a zkouškami. Dále se vada odlitku dělí podle dohod mezi výrobcem a zákazníkem na [1,2]:

- a) přípustná vada – je taková, kterou příslušné normy a sjednaných technických podmínek připouštějí, aniž by požadovaly její odstranění, pokud není výslovně zakázána
- b) nepřípustná vada – je taková odchylka od sjednaných technických podmínek a norem, kterou nelze odstranit opravou, nebo jejíž oprava je podle sjednaných podmínek a norem nepřípustná. Vada tedy činí odlitek z funkčního hlediska jako nepoužitelný
- c) opravitelná vada – je taková odchylka od sjednaných technických podmínek a norem, jejíž oprava (např. zavaření, tmelení, žíhání, aj. technologie) je sjednanými podmínkami nebo normami dovolena nebo není slovně zakázána
- d) odstranitelná vada – je taková odchylka na odlitku od sjednaných technických podmínek a norem, kterou je dovoleno odstranit po dohodě s odběratelem odlitku jen zvláštními nebo vhodnými úpravami nepředpokládaných u původního výrobního postupu

Pomocníkem ke správné diagnostice vad byl systém klasifikace vad vypracovaný před padesáti lety mezinárodní komisí CIATF a slouží jako mezinárodní atlas vad [4], [5]. Z tohoto atlasu a doposud platné

československé normy ČSN [6] vycházel kolektiv českých autorů [1], [7], který před 17 lety publikoval knihu popisující vady odlitků ze slitin železa. Tato publikace řadí stejně jako norma do sedmi kategorií, avšak ty se dělí ještě na skupiny vad a ty na jednotlivé vady. Třídění vad je přehledně uspořádáno v (tab. 3.1) [8].

Tab. 3.1. Třídění vad odlitků na třídy a druhy vad podle [1]

Třída vad	Název třídy vad	Skupina vad	Název skupiny vad	Počet druhů
100	Vady tvaru rozměrů a hmotnosti	110	Chybějící část odlitku bez lomu	8
		120	Chybějící část odlitků s lomem	3
		130	Nedodržení rozměrů, nesprávná tvar	4
		140	Nedodržení hmotnosti odlitků	-
200	Vady povrchu	210	Přípečeniny	3
		220	Zálupy	3
		230	Nárosty Výronky	4
		240	Výronky	-
		250	Výpotky	-
		260	Zatekliny	3
		270	Nepravidelnosti povrchu odlitku	7
		280	Vady povrchové ochrany odlitku	-
300	Porušení souvislosti	310	Trhlíny	3
		320	Praskliny	-
		330	Porušení souvislosti mechanickým poškozením	2
		340	Porušení souvislosti nespojením kovu	2
400	Dutiny	410	Bublíny bodliny	5
		420	Bodliny	-
		430	Odvařeniny	3
		440	Staženiny	6
500	Makroskopické vměstky a vady makrostruktury	510	Struskovitost	2
		520	Nekovové vměstky	6
		530	Makrosegregace a vycezeniny	4
		540	Broky	-
		550	Kovové vměstky	-
		560	Nevyhovující lom	-
600	Vady mikrostruktury	610	Mikroskopické dutiny	3
		620	Vměstky	-
		630	Nesprávná velikost zrna	-
		640	Nesprávný obsah strukturních složek	-
		650	Zatvrdlina, zákalka	-
		660	Obrácená zákalka	-
		670	Oduhličení povrchu	-
		680	Jiné odchylky od mikrostruktury	-
700	Vady chemického složení a vlastností odlitků	710	Nesprávné chemické složení	-
		720	Odchylky hodnot mechanických vlastností	-
		730	Odchylky hodnot fyzikálních vlastností	-
		740	Nevyhovující homogenita odlitku	-

Pro označení vady se používá třímístný číselný znak. Všechny třídy mají své charakteristické číslo 100 až 700. Skupiny vad jsou charakterizovány prvními dvěma čísly třímístného znaku. Skupin vad je celkem 38, z toho 18 se jich dále člení na 70 jednotlivých druhů využívajících všech tří míst ve znaku. Dohromady jde o 108 možností vyjádření vady a je na uživateli zda využije pouze 38 názvů vad ve skupinách nebo uplatní i názvy podle druhů.

Ze správného určení vad a jejich příčin pak vyplývají opatření, která by měla sloužit k jejich odstranění a prevenci.

3.1 Identifikace vad odlitků

Správná identifikace vady je hlavní problém slevačů po celou dobu historie slévárenství. K určení druhu vady však většinou slouží jen vizuální kontrola a často se stává, že při posuzování vady označí dva kontroloři stejnou vadu odlišným termínem se zcela odlišnou genezí vady. Těmto omylům se předchází systematickou prací ve slévárně a důsledností, udávanou systémem řízení jakosti.

Řídit jakost ve slévárenství znamená umět určit neshody (vady) a znát postupy, jak jim předcházet. Diagnostika vady je klíčem ke snížení nákladů ve slévárně. Moderní přístup k zajištění výroby jakostních odlitků spočívá v prevenci v předcházení vadám a plánování jakosti. Vady by se neměli tedy vyhledávat, je třeba znát správné postupy identifikace vad odlitků a její příčiny. Ne každý odlitek nebo zákaznickovy potřeby jsou stejné. Znehodnocující vady pro určitou součást nebo zákazníka by mohly být přijatelnou úrovní pro jinou součást nebo jiného zákazníka.

Identifikace vad spojená se stanovením opatření příčin jejich vzniku a se stanovením opatření k zamezení jejich výskytu vychází nejdříve ze vzhledových (morfologických) a technologických znaků. Rozhodující význam pak mají informace ze sběru dat o podmínkách výroby. Pro zpětnou kontrolu je důležité odlitky adresovat, tedy opatřit číselným znakem či jiným znakem, v kterém je zakódováno např. datum výroby, číslo tavby atp.

Ze znalosti příčin vady jejich vznikem a souvislostí mezi výrobními podmínkami se přistupuje k vypracování návrhu na opatření a k realizaci těchto návrhů ve výrobě. Tento postup však mnohdy nestačí k určení příčin

vady a pak se využívají statistické metody. S jejich pomocí je možné srovnávat soubory informací o odlitcích s vadami a bez apod. [8, 9].

3.2 Způsoby zjišťování vad odlitků

Pro každou vadu je v citované knize [1] uváděn její popis, příčiny vzniku, opatření k zabránění vzniku, odstranění vady a způsob zjištění. Celkem je 21 způsobů, pomocí nichž můžeme vady zjišťovat.

Tab. 3.2 Způsoby zjišťování vad odlitků [9]

Skupina	Poř.č.	Název	četnost
prohlídka odlitku	1	Vizuální kontrola odlitku (surového, hrubého, opracovaného)	70
	2	Prohlídka odlitku (vady) pomocí lupy	11
měření, vážení	3	Rozměrová kontrola (rýsování, kontrola podle šablon a etanolů)	4
	4	Měření drsnosti povrchu odlitku (porovnání s etalonem)	2
	5	Stanovení hmotnosti	1
defektoskopie	6	Zvuková zkouška (poklepáním)	1
	7	Prozařování odlitků (rentgenové, radioaktivní. Neutronové)	10
	8	Ultrazvuková defektoskopie (odrazová a průchodová metoda)	7
	9	Magnetická prášková metoda (polévací, napravovací, magnetofluorescenční)	2
	10	Kapilární zkoušky (metoda barevné indikace a fluorescenční metoda)	4
	11	Zkoušky propustnosti (tlakování odlitků)	4
chemické rozbor	12	Stanovení chemického složení materiálu	5
	13	Stanovení obsahu plynů	4
	14	Rentgenová spektrální analýza	8
	15	Metody určování fázového složení (difrakční, spektrální, termické, optické, atd.)	5
strukturní rozbor	16	Fraktografie	6
	17	Stanovení makrostruktury (včetně Baumanova otisku)	4
	18	Stanovení mikrostruktury světelnou mikroskopií, elektronová mikroskopie	14
	19	Elektronová mikroskopie (řádovací, transmisní)	4
rozbor vlastností materiálu	20	Stanovení mechanických vlastností	1
	21	Stanovení fyzikálních vlastností	1

Tab. 3.2 uvádí způsoby rozdělené do hlavních šesti skupin:

- prohlídka odlitku
- měření, vážení
- defektoskopie
- chemické rozbor

- strukturní rozbory
- rozbor vlastností materiálů

Jak uvádí tab. 3.2, nejčastější metodou je vizuální kontrola odlitku, pak následuje stanovení mikrostruktury a prozařování odlitků. Často se metody kombinují, a stává se, že k určení vady se musí použít několik způsobů postupně.

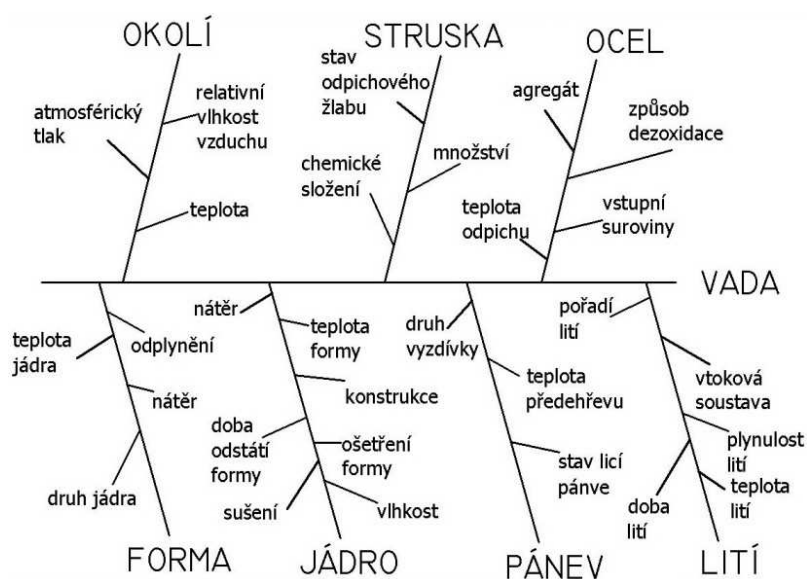
Dobře diagnostikovat vadu, znamená používat vhodnou měřicí a laboratorní techniku, kriticky myslet, být objektivní při posuzování vztahů mezi různými činiteli. Postup uvedený v tab. 3.3, znázorněný vývojovým diagramem, uvádí kroky pro posouzení vady [8, 9].

Tab. 3.3 Identifikace vad odlitků [8]

Schéma	Postup činnosti	Provádí
<pre> graph TD Start([]) --> D1{ } D1 -- NE --> C1((1)) D1 -- ANO --> D2{ } D2 -- NE --> C1 D2 -- ANO --> B1[] B1 --> D3{ } D3 -- NE --> C2((2)) D3 -- ANO --> B2[] B2 --> B3[] B3 --> EXP([EXPEDICE]) EXP --> ZMETEK([ZMETEK]) ZMETEK --> C1 C1 --> B4[] B4 --> B5[] B5 --> D4{ } D4 -- ANO --> C2 D4 -- NE --> C1 </pre>	Posouzení vady podle vzhledu, norem, výkresů a sjednaných technických podmínek	Kontrolor
	Posouzení, zda se jedná o vadu zjevnou (ANO) nebo o skrytou neshodu (NE)	Kontrolor
	Posouzení, zda lze vadu jednoznačně určit	Kontrolor
	Určení druhu vady (neshody), stanovení příčin, nápravná opatření	Kontrolor nebo komise odborníků
	Posouzení možnosti opravy vady (neshody) - lze opravit?	Kontrolor, technolog, mistr
	Provedení opravy, úpravy	Určená dílna
	Provedení záznamu o použitých postupech, rozsahu, identifikace	Mistr
	Uvolnění odlitku zákazníkovi	Kontrolor, expedient
	Vyřazení odlitku, šrotace	Kontrolor, mistr
	Provedení doplňkových rozborů, destruktivní i nedestruktivní kontrola atd.	Laboratoř, určená dílna
	Posouzení výsledků rozborů, vzhledu vady, shody s předpisy	Kontrolor nebo komise odborníků
	Lze nyní vadu jednoznačně určit?	Kontrolor nebo komise odborníků
	Opakování celého postupu s využitím dalších kontrolních metod, externích odborníků apod. až do konečného rozhodnutí	

3.3 Určení příčiny vady

Většina vad má mnoho příčin. Některé, jako zadržování, sekundární struskovitost, povrchové trhliny aj. mohou mít více než dvě desítky příčin. Možný pohled na situaci podává i sestavený Ishikawův diagram (obr. 3.1) Postup pro kusovou nebo malosériovou výrobu je jiný než u hromadné nebo velkoseriové výroby.



Obr. 3.1 Ishikawův diagram příčin a následků [9]

Pokud nelze vadu určit z její definice, vybere se několik možných příčin a z těch pak vybrat tu dominantní. Dále se porovnávají různé znaky jakosti a jejich konkrétní realizace, které mohou kolísat výrobek od výrobku. Potom se vyhodnocují základní statistické charakteristiky s použitím různých metod podle stupně zavedení statistického řízení procesu označovaného jako SQC (Statistical Quality Control-statistická kontrola jakosti) [9].

3.4 Základní postup při určování vad [10]

Pokud vzniknou na odlitcích vady, doporučuje se při jejich identifikaci, stanovování příčin vzniku a opatření k nápravě těchto kroků:

- snažit se vadu a její vzhled zachytit co nejdříve, pokud možno nejlépe na neotryskaném odlitku

- Pokud nelze vadu určit dle vzhledu, měřením nebo vážením, přistupuje se k defektoskopickým metodám a různým fyzikálním a chemickým analýzám
- Ke sledovanému odlitku je třeba přiřadit všechna známá data o výrobních podmínkách (výroba formy, tavba, chlazení, apod.)
- Stanovit a porovnat všechna data s předpisem uvedeným v technologických postupech
- V případě, že se nenajdou odchylky vlastností a podmínek výroby neshodných kusů, je třeba se obrátit na statistické metody a porovnat trendy a větší soubory dat
- Současně se provádějí doplňující laboratorní zkoušky a rozborů. Výsledky by měly být zdokumentovány a archivovány
- Vady odlitků nevznikají většinou z důvodu jediné příčiny, často se jedná o kombinaci příčin
- Výpočetní technika s určitým softwarem umožňuje vytvářet databanky informací o vadách odlitků, jejich příčinách a výsledcích realizace opatření k odstranění vad a jejich prevenci. Z dlouhodobého hlediska má tedy velký význam každý případ zvýšené zmetkovitosti hodnotit a archivovat

4. FREKVENTOVANÉ VADY

Ve slévárenských provozech vyrábějících ocelové odlitky, se často vyskytují vady spadající do třídy vad: *Vady povrchu* (200), *Dutiny* (400), *Makroskopické vměstky a vady makrostruktury* (500), *Vady mikrostruktury* (600) a *Vady chemického složení a vlastností odlitků* (700). V následujících podkapitolách jsou stručněji popsány konkrétní vady vybrané ze zmíněných nejfrekventovanějších tříd vad.

4.1 Sekundární struskovitost (512)

Vada tohoto druhu je nejčastěji produktem reoxidačních pochodů, které probíhají nejen v odlitku na rozhraní forma-kov, ale začínají už při odpichu kovu do pánve. Významnou mírou ovlivňují konečnou kvalitu odlitků.

4.1.1 Příčina vzniku sekundární struskovitosti

Proces reoxidace jednotlivých prvků probíhajících v tavenině oceli při vylévání z tavicího agregátu, z lící pánve a zejména při protékání formou je faktem, kterému nelze při odlévání ocelových odlitků zabránit.

Výsledkem vzájemného působení kovu a formovacího materiálu je vznik jednoduchých oxidů a následně silikátů, které způsobují povrchové defekty (vady) podobné zadrobeninám nebo vměstkům struskového charakteru. Struska vzniklá reoxidací ve formě je z hlediska složení silně heterogenní oproti pecní strusce, jejíž složení je homogenní, i když oxidační procesy jsou obdobné.

V práci [11] bylo také prokázáno, že produkty reoxidace oceli obsahují významný podíl MnO. Protože Mn není prakticky obsažen v žádných slévárenských hmotách a látkách, ze kterých je vyrobena forma, pánev atp., je vysoký obsah MnO v sekundární strusce důkazem reoxidace Mn z tekutého kovu při odlévání. Mangan nejsnáze oxiduje v prostředí vodní páry. Na povrchu proudu vzniká polykomponentní film oxidů (Al_2O_3 , SiO_2 , MnO, FeO a další), z nichž MnO a FeO jsou velmi reaktivní vůči SiO_2 formy. Dochází k intenzivnímu naleptávání SiO_2 a vytváření složitých nízkotavitelných silikátů, které jsou unášeny proudem kovu do dutiny formy, kde koagulují a vyplavou na povrch a vytvářejí světlá místa sekundární struskovitosti.

Protože je podstatný rozdíl mezi množstvím reoxidačních produktů v syrové formě na jedné straně a v sušené nebo organické formě na druhé straně, je to důkazem, že rozhodující jsou reoxidační procesy v dutině formy, zatím co reoxidace oceli při vylévání z pece nebo pánve je méně významná.

Pro zachycování produktů reoxidace a vměstků se využívá keramických filtrů vhodně zařazených do vtokové soustavy.

4.1.2 Charakter a identifikace vady

Reoxidační pochody mohou mít za následek vznik celé řady vad jak u ocelových odlitků, tak u litinových. Nejčastěji jde o povrchové a otevřené dutiny vyskytující se nejčastěji v horních plochách odlitku, dále pak o vady makro a mikrostruktury.



Obr. 4.1 Sekundární struska

Způsob zjištění vady se provádí prohlídkou povrchu odlitku, nejlépe před tryskáním, s ohledem na popis vady. Nalezení světlé skvrny na povrchu odlitku, jak je uvedeno na obr. 4.1, je jednoznačným důkazem.

Další metodou umožňující identifikaci vady je rentgenová (RTG) difrakční analýza nebo rastrovací elektronová mikroskopie (REM). Pomocí těchto metod lze u vzorku strusky odebraných z odlitku určit fázové složení strusky příp. prvky, které jsou v ní obsaženy, což umožňuje přesněji posoudit, zda se jedná o produkt reoxidačních pochodů nebo se jedná např. o pecní strusku.

4.2 Bubliny (410)

Dle původu se dělí bubliny na exogenní a endogenní. Exogenní bubliny vznikají při odlévání, jestliže tlak plynů v okolí formy převyší odpor, který mu klade tuhnoucí povrchová vrstva, pak plyny vniknou do odlitku. Endogenní bubliny vznikají z plynů rozpuštěných ve slitině, jestliže tlak rozpuštěných plynů převyší odpory působící proti nim. Na tvorbě těchto bublin se podílí kyslík, dusík, vodík a jejich vzájemné kombinace [1,12].

Dle [1] jsou bubliny otevřené (povrchové) nebo uzavřené (vnitřní) ve stěnách odlitků. Výskyt je ve shlucích nebo jednotlivě, v některých případech v celé oblasti odlitku nebo v celém jeho objemu. Povrch uzavřených bublin je buď čistý, hladký nebo i oxidovaný. Otevřené bubliny mají povrch pokrytý vrstvou oxidů, protože dochází ke styku s atmosférou. Tvary bublin jsou rozmanité.

Skupina vad bubliny (400) se dělí na pět druhů vad: Bubliny způsobené kyslíkem (411), Bubliny způsobené vodíkem (412), Bubliny způsobené dusíkem (413), Zahlcený plyn (414) a Síťkovité bubliny (415).

4.2.1 Příčiny vzniku endogenních bublin

Základní příčina vzniku endogenních bublin spočívá v tom, že během odlévání a chladnutí kovu se při poklesu teploty snižuje rozpustnost plynů. Při překročení mezní rozpustnosti závislé na teplotě, tlaku a složení slitiny, se tyto plyny vylučují ve formě bublin. Vliv kyslíku na tvorbu bublin je kompenzován v běžných případech dezoxidačními reakcemi taveniny, při nichž kyslík postupně reaguje s vápníkem, hliníkem, křemíkem a manganem jako nejčastějšími dezoxidujícími prvky a v poslední fázi železem. Produkty reakcí jsou vměstky. Kyslíkové bubliny vznikají pouze při extrémě vysokých obsazích kyslíku ve slitině kovu [1,12]. Rozpustnost kyslíku při teplotě 1600°C a tlaku 0,1 MPa je maximální a dosahuje 0,25 hm. % kyslíku [2]. Častějším případem je, že kyslík tvoří bubliny nepřímo, tj. tvoří s uhlíkem během chladnutí a tuhnutí oxid uhelnatý (CO_2). Ten je v tavenině prakticky nerozpustný a proto tvoří v části nebo celém odlitku bubliny [1].

Vodíkové bubliny vznikají při chladnutí a tuhnutí slitiny kovu v odlitku následkem přesycení taveniny rozpuštěným vodíkem. Maximální rozpustnost vodíku v čistém roztaveném železe je při teplotě 1600°C a tlaku 0,1 MPa je

29,1 cm³/100 g. Přepočet této koncentrace na hm. % a hm. ppm je dán vztahem:

$$1 \text{ cm}^3 \text{ H} \cdot (100 \text{ g})^{-1} = 0,9 \cdot 10^{-4} \text{ hm. \%H} = 0,9 \text{ hm. ppm} \quad (1)$$

Ze vztahu (1) vyplývá, že za uvedených podmínek je maximální rozpustnost vodíku v čistém železe 0,00262 hm.% [1]. Při překročení této kritické hodnoty se v tavenině železa začnou vytvářet vodíkové bubliny. V tuhé fázi je rozpustnost vodíku nižší než v tavenině a bude s ohledem na rozdělovací koeficient vodíku mezi pevnou a tuhou fází delta ferit Fe- δ , který činí $k_H^{\text{Fe-}\delta/\text{L}}=0,31$, rozpuštěno nanejvýš

$$[\text{hm. \%H}]_S = k_H^{\text{Fe-}\delta/\text{L}} \cdot [\text{hm. \%H}]_L = 0,31 \cdot 0,00262 = 0,000812 \text{ hm. \%H} \quad (2)$$

což znamená asi 8,1 hm. ppm vodíku [2].

Dusíkové bubliny vznikají analogicky jako vodíkové. Maximální rozpustnost dusíku v čistém roztaveném železe při teplotě 1600°C a tlaku 0,1 MPa je (0,0437±0,006) hm.% [2]. Také pro dusík v železe platí, že jeho rozpustnost je v tuhé fázi nižší. Rozdělovací koeficient dusíku mezi ferit delta Fe- δ a taveninou má hodnotu $k_N^{\text{Fe-}\delta/\text{L}}=0,28$ a při maximální rozpustnosti se na rozhraní taveniny a pevné fáze rozpustí v austenitu nanejvýš

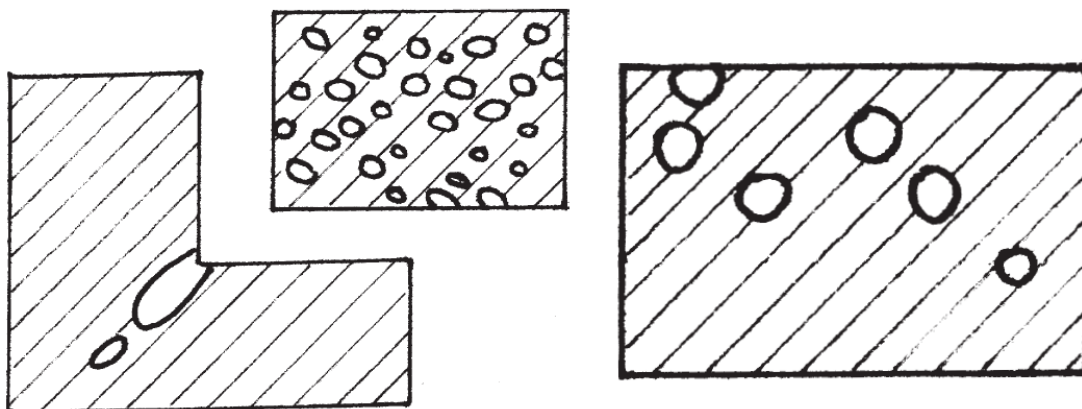
$$[\text{hm. \%N}]_S = k_N^{\text{Fe-}\delta/\text{L}} \cdot [\text{hm. \%N}]_L = 0,28 \cdot (0,0437 \pm 0,006) = 0,0122 \pm 0,0017 \text{ hm. \%H} \quad (3)$$

Větší množství prvků vodíku a dusíku, než jsou jejich uvedené obsahy výše v pevných fázích na rozhraní s taveninou, se nemohou v tuhoucím železe rozpustit a prudce se zvyšuje náklonnost k tvorbě endogenních bublin. Aby nedocházelo k jejich vzniku, doporučuje se před odléváním odlitků snížit obsah vodíku pod 8 hm.ppm a dusíku pod 115 hm. ppm [2].

4.2.2 Identifikace bublin

Otevřené povrchové bubliny je možno zjistit vizuálně ještě před mechanickým opracováním, čili před obráběním odlitku. Uzavřené bubliny jsou zjistitelné zkouškou ultrazvukem, prozářením nebo se objeví také po mechanickém

obrobení. K určení původu a mechanismu vzniku je někdy třeba odlišit od sebe jednotlivé typy dutin. V takových případech se postupuje tak, že z postižené oblasti se odebere vzorek s dutinou a ten se podrobí analýze. Na obr. 4.2 je schéma vad bubliny.



Obr. 4.2 Schéma výskytu bublin (shluky, jednotlivé bubliny) v odlitku [12]

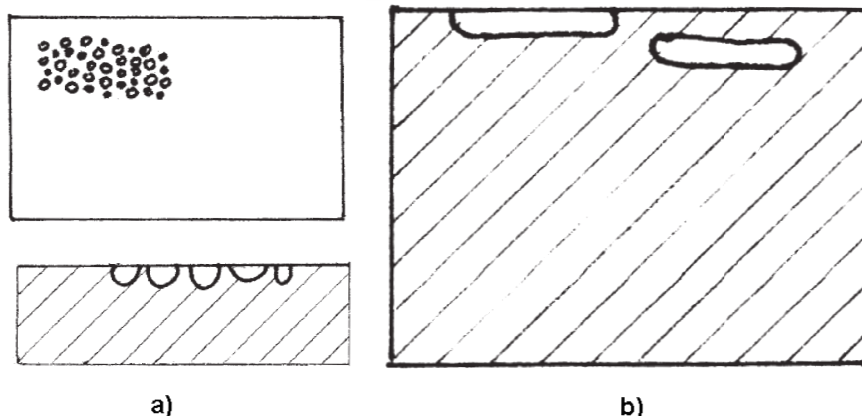
4.2.3 Zahlcený plyn (414) a síťkovité bubliny (415)

Zahlcený plyn tvoří nejčastěji rozměrné zploštělé hladké dutiny (obr. 4.3). Vyskytují se izolovaně i ve shlucích. Vada bývá nejčastěji způsobena špatným odvzdušněním formy a jádra. Objem plynů vytlačovaných z formy se s jeho rostoucí teplotou během odlévání velmi rychle zvětšuje, přibližně podle stavové rovnice:

$$\frac{p \cdot V}{R \cdot T} = konst. \quad (4)$$

Na objemu zachyceného plynu ve formě má vliv také rychlost plnění slévárenské formy a licí rychlost odlévané slitiny [2].

Síťkovité bubliny jsou malé povrchové dutiny kulovitěho tvaru často o velikosti 1 až 2 mm, které se vyskytují jen v licí kůře odlitku (obr. 4.3). Povrch odlitku má charakter jemné sítě. Vznik této vady podporuje vypařování vody v syrových nebo nedostatečně vysušených formách a jádrech. U směsí s organickými pojivy se uplatňuje také působení termodestrukce organických látek. Dalšími faktory mohou být nedostatečná prodyšnost formy, nedostatečné spěchování, neočištěná vnější chladítka [1,2].



Obr. 4.3 Schéma a) síťkovitých bublin, b) zahlceného plynu v řezu odlitku [12]

Tvorba bublin z technologického hlediska u slitin železa roste s tloušťkou stěny odlitků a klesá s metalostatickým tlakem. Náchylnost ocelí k tvoření bublin roste u přetaveb vratného materiálu, probíhající bez oxidačního údobí a čím více se ho objeví ve vsázce. Cyklováním vratného materiálu se v tavenině oceli postupně zvyšují obsahy dusíku i vodíku [12].

4.3 Odvařeniny (430)

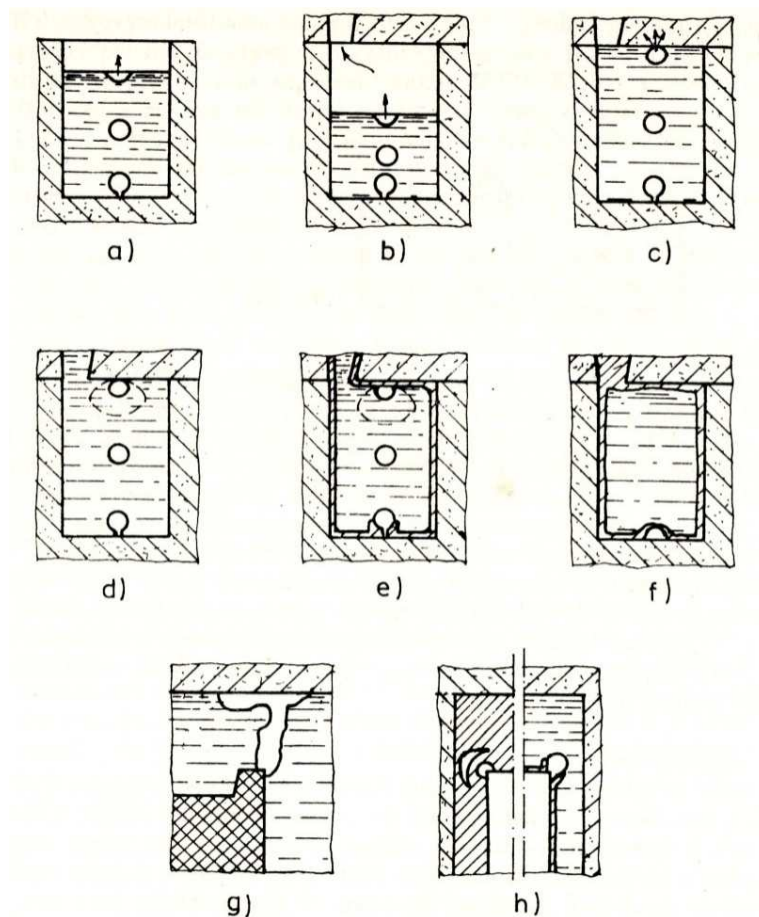
Třída vad 430 – odvařeniny, se dělí dále na skupiny: odvařeniny od formy nebo jádra (431), odvařeniny od chladítek a zalévaných předmětů (432) a odvařeniny od vměstků (433).

Jedná se o otevřené nebo uzavřené hladké dutiny často na povrchu odlitku. Někdy je vada doprovázena sekundární nebo exogenní struskou a zadrobeninami.

4.3.1 Příčiny odvaření [1]

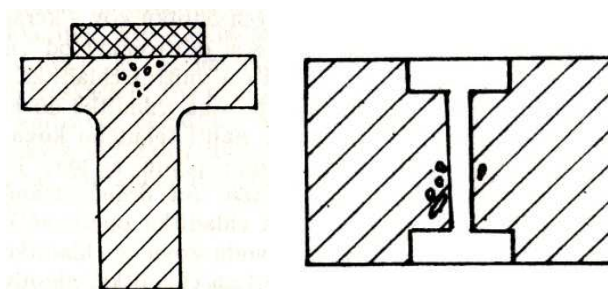
V případě formy vzniká po nalití tekutého kovu do dutiny formy značné množství plynů a par, jejichž množství závisí na druhu formy hmotnosti odlitku atd. Na rozhraní kov-forma dochází ke značným tlakům plynů vzniklých z vlhkosti formy, z organických látek ve formovací směsi nebo pojiva směsí s umělými pryskyřicemi. Pro směr toku plynu je určujícím faktorem prodyšnost formy a stádium krystalizace. Stlačené plyny se snaží z místa vzniku uniknout cestou nejmenšího odporu. Plyny pronikají tedy z formy přes kov na hladinu, hromadí se na vršku odlitku, pronikají přes slabou kůru do odlitku v případech, že je prodyšnost formy malá. Důlky na povrchu vznikají tak, že plyny deformují

krystalizující formu, ale neproniknou skrz. Schéma vzniku odvařenin od formy je na obr. 4.4.



Obr. 4.4 Schéma vzniku odvařenin od formy, jádra [1]

Mechanismus vzniku odvařenin od chladítek a zalévaných předmětů (obr. 4.5) je podobný odvařeninám od formy.



Obr. 4.5 Schéma vady odvařeniny [1]

Ihned po styku kovu s vnějším chladítkem vznikne ztuhlá kůra odlitku. Je-li chladítko znečištěno mastnotou, zoxidováno nebo je na povrchu vlhkost, vytvoří se po dotyku s kovem velké množství plynů a par. Jelikož je chladítko nebo zalitý předmět neprodyšné, roste tlak vzniklého plynu, který může překonat natuhlou kůru a pronikat do odlitku.

Vznik odvařenin od vměstků (strusky) je komplikovanější a souvisí s reakcemi tekutého kovu se žáruvzdorným materiálem z pece, pánve a formovacím materiálem. V místě zachycení vměstku při plnění kovem vzniká odvařenina.

4.3.2 Zjištění odvařenin

Prohlídka povrchu odlitku a prozařování odlitku. Při identifikaci vady je důležité zjištění místa proniknutí plynů z formy (jádra) do odlitku [1].

4.4 Povrchové připečeniny (212)

Připečeniny jsou vady řadící se mezi vady povrchu (200). Je to vada odstranitelná, avšak její odstranění je mnohdy pracné a nákladné. Povrchová připečenina je tenká vrstva formovacího materiálu pevně spojená s povrchem materiálu, častěji na rovných plochách.

4.4.1 Příčina vzniku povrchové připečeniny

Vznik připečenin je obecně velmi složitý, dodnes nejednoznačně vysvětlený proces, na kterém se podílejí pochody mechanické, fyzikální a chemické.

Kov penetruje do větší hloubky, než je průměr zrna ostřiva. Značná přilnavost k povrchu odlitku je výsledkem fyzikálně chemických reakcí. Při lití dochází k oxidaci kovu. Oxidy železa zvyšují smáčivost formy kovem a nastává nasávání kovu do mezizrnových prostor. Penetrace může nastat také vlivem metalostatického tlaku, metalodynamického tlaku nebo kapilačních sil [13].

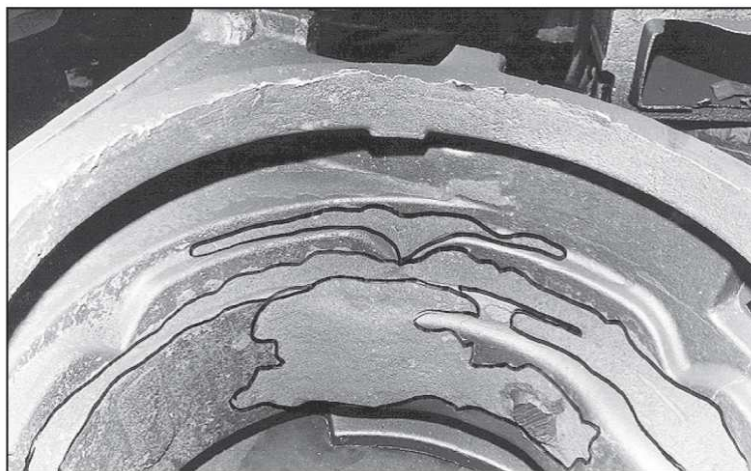
Na připečeniny působí celá řada faktorů [1,13]:

- Druh kovu, teplota lití (přehřátí), dezoxidace kovu
- Povrchová napětí, úhel smáčení formy
- Metalostatický a metalodynamický účinek kovu
- Druh ostřiva, jeho morfologie, čistota ostřiv
- Pojiva
- Zhuštění formy (velikost pórů)

- Povaha forma-kov, plynový režim formy

4.4.2 Zjištění vady

Vizuálně na hrubě očištěném odlitku po vytlučení z rámu, po otryskání, vysekávání. Příklad povrchové připečeniny je na obr. 4.6.



Obr. 4.6 Připečenina na ocelovém odlitku [13]

4.5 Experimentální metody pro zjišťování procesu reoxidace

Při odlévání slitin železa na vzduchu dochází ke styku slitiny a kyslíku a oxidují všechny prvky, které mají za daných podmínek vyšší afinitu ke kyslíku než železo. Tyto procesy jsou obzvláště silné při odlévání kovu do syrových forem.

Reoxidaci kovu můžeme dle autorů [14] zkoumat těmito způsoby:

- a) Sledování změn chemického složení kovu
- b) Sledování výskytu a složení vměstků v kovu
- c) Analýza vad odlitků
- d) Sledování změn aktivity kyslíku v kovu

Metody a), b), c) lze považovat za metody nepřímé, poněvadž důsledky reoxidace jsou zkoumány po ztuhnutí a vychladnutí odlitku. Metoda d) je označována jako metoda přímá, protože umožňuje přímé sledování změn kovu prostřednictvím aktivity kyslíku.

U metody a) se sleduje změna chemického složení dezoxidačních prvků v pánvi a v odlitku. Zjištěné rozdíly koncentrací pak poukazují na reoxidační pochody, ke kterým dochází v kovu během jeho setrvání v pánvi po odpichu. Pomocí přilítých vzorků lze v různých místech odlitku sledovat reoxidační pochody během odlévání a chladnutí kovu v dutině formy. Mírou reoxidace je pak změna chemického složení mezi kovem v pánvi a daném místě odlitku.

V případě analýzy vměstků b), se vychází z předpokladu, že morfologie a chemické složení oxidických i sulfidických vměstků souvisí s aktivitou kyslíku během jejich vzniku. Jestliže se pak u dostatečně uklidněné oceli v některém místě odlitku objeví vměstky obsahující slabá dezoxidovadla, lze potvrdit, že případné vady nebo odchylky od požadavků mohou souviset s reoxidačními pochody. Analýzou vad c) na povrchu odlitku způsobených vměstkou nebo struskou lze potvrdit, zda vada vznikla v důsledku reoxidace. Jedinou provozně použitelnou metodou, jak přímo sledovat změnu aktivity kyslíku během odlévání a plnění dutiny formy je měření aktivity kyslíku pomocí koncentračních článků (kyslíkových senzorů) [15].

Pozn.: Souběžně s touto prací se vyhodnocovaly výsledky práce [16] využívající zmíněných metod, hlavně vyhodnocování vměstků v kovu.

5. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

Pro vlastní experiment byla navržena technologie výroby série 10-ti zkušebních odlitků (tab. 5.1), které byly sledovány detailněji v celém průběhu výroby. Navržená technologie podnikem DSB EURO byla rozdílná ve dvou faktorech, a sice v rozdílném dávkování chromitové směsi ve formovacím materiálu a dále v použití systému filtrace. Za použití simulačního software ProCAST byly odsimulovány procesy probíhající v dutině formy. Týkaly se hlavně proudění kovu, tuhnutí a chladnutí, určení poloh zkušebních vzorků. Dle zjištěných informací byly stanoveny doplňující změny v technologii, např. poloha a počet chladítek, poloha chladítek atp.

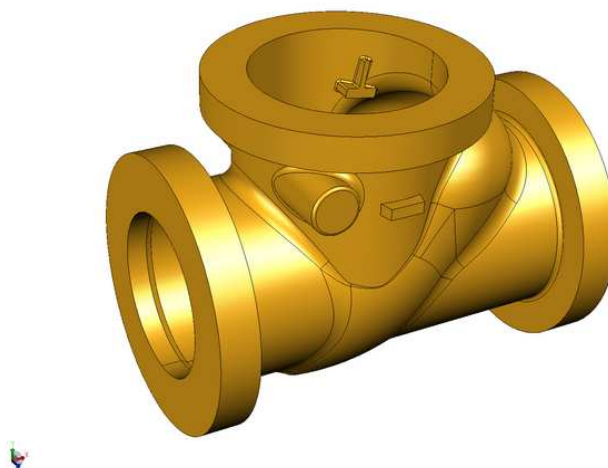
Tab. 5.1 Základní údaje o technologii sledovaných 10 ks

Odlitek p.č.	Formovací směs	Filtrace	Dokončení
B1	Fenol-křemen	ano	DSB
B2	Fenol-křemen	ano	Vítkovice
B3	Fenol-chromit	ano	DSB
B4	Fenol-chromit	ne	DSB
B5	Fenol-chromit (silnější vrstva)	ne	DSB
B6	Fenol-křemen	ne	Vítkovice
B7	Fenol-křemen	ano	Vítkovice
B8	Fenol-křemen	ano	DSB
B9	Fenol-křemen	ano	DSB
B10	Fenol-křemen	ano	DSB

Zaměření práce směřovalo ke sledování výrobní technologie vybrané série odlitků a následné analýze zjištěných vad na odlitcích. Konkrétně se jednalo o vady způsobené reoxidací kovu, poněvadž tyto vady mají největší podíl na opravách povrchových vad ve slévárně DSB EURO. Identifikace tohoto typu vady byla provedena v této slévárně v rámci první etapy řešení projektu [17,18].

Sledovaným odlitkem bylo těleso ventilu o hrubé hmotnosti 2682 kg z oceli na odlitky dle ASTM A216WCC. Hlavní kritérium pro posouzení příčin a rozsahu

vad byly plochy a objemy vad po vydrážkování kyslíko-acetylenovým plamenem či uhlíkovou elektrodou. Jako nezávisle proměnné byly sledovány parametry související s výrobou odlitků. Popis a princip měření je popsán v následujících podkapitolách.



Obr. 5 Těleso ventilu

5.1 Použité technologie a podmínky výroby

5.1.1 Formovací směs

Formovací směs byla připravována v kontinuálním mísiči IMF. Pojivový systém je vstřikován čerpadly do mísícího tubusu, kterým prochází ostřivo. Komponenty jsou účinně promíchávány rotorem s lopatkami. Z výsypky tubusu vychází již upravená směs, kterou je nutné rychle spotřebovat. Složení směsi s křemenným ostřivem je uvedeno v tabulce 5.2.

Dávkování pojivového systému v uvedeném rozmezí se řídí požadovanými vlastnostmi, dobou zpracovatelnosti, teplotou ostřiva a pracovního prostředí. Dávkování pryskyřice při výrobě ventilů bylo nastaveno na 1200ml/30s a tvrdidla 660ml/30s.

Tab. 5.2 Složení formovací směsi

Komponenta	Druh	Podíl [%]
ostřivo	křemenný písek Dolní Lhota $d_{50}=0,36\text{mm}$	98,4 - 98,9
tvrdidlo	Kyselina benzensulfonová BAKELITE H 0984 H	35 - 55
pojivo	Fenolová pryskyřice BAKELITE PF 9146 GN 01	0,85 - 1,15

Pro výrobu formy bylo zužitkováno více druhů formovací směsi:

modelová směs - křemenné ostřívo pojené fenolickou pryskyřicí
 - chromitové ostřívo pojené fenolickou pryskyřicí
výplňová směs - regenerát pojený vodním sklem

Směs s chromitovým ostřivem se běžně užívá na líci modelu na vybraných místech. U forem s pořadovým číslem B3, B4 byl předepsán větší podíl chromitového ostřiva viz. tab. 5.3. Vyšší podíl chromitového ostřiva byl použit k ověření jeho vlivu na odvod tepla v nejvíce tepelně exponovaných místech a jeho vliv na vznik trhlin. Chromitem se obložil celý líc formy a jeho spotřeba se zvýšila vůči standardní technologii o 100 kg. U B5 byla provedena zkouška vlivu vysoké spotřeby chromitu.

Tab. 5.3 přehled spotřeby chromitu

spotřeba	Běžná (ostatní)	Zvýšená (B3,B4)	Vysoká (B5)
Spodek formy [kg]	75	100	250
Vršek formy [kg]	75	100	250
1. Polovina jádra [kg]	50	75	175
2. Polovina jádra [kg]	50	75	175
Celkem [kg]	250	350	850

5.1.2 Nátěr pro formy a jádra

K opatření formy nátěrem bylo použito žáruvzdorného lihového nátěru FOUNDRYLAC ZIRCONIO IPA C/85. Nátěr na bázi zirkonu je určen pro výrobu silnostěnných ocelových a litinových odlitků.

Při výrobě byl používán způsob aplikace nátěru výhradně natíráním. Nátěr se nechal volně vysušit na vzduchu, popřípadě se zapaloval. Způsob nanášení nátěru i sušení byl v souladu s doporučením uvedeným v technické kartě nátěru.

5.1.3 Formování

Model byl na určených místech nejprve obsypán chromitovou směsí a pak ST směsí (modelovou) do určité míry. Zbytek formy byl doplněn výplňovou směsí CT50, vytvrditelnou plynem. Tento „sendvičový“ způsob formování je používán v DSB standardně. Tímto způsobem byl formován spodek i vršek.

Po zaformování vršku a dostatečném vytvrzení výplňové směsi je forma rozdělena, vyjme se model a následují opravy formy. Volný písek po úpravách jak ve formě, tak ve vtokové soustavě je vyfoukán vzduchem či vysát pryč. Takto upravená a čistá forma je natřena štětcem dvěma po sobě jdoucími nátěry. Stejný postup natírání se používá u děleného jádra. Po aplikaci nátěrů se přistupuje po opětovném čištění a umístění těsnící hmoty v dělicí rovině se přistupuje ke skládání formy. Složená forma se odlévá následující den. Poloviny jádra se skládají ve formě. Před samotným litím je do formy z topného ventilátoru (kamen) foukán teplý vzduch o teplotě 150-200°C po dobu 2-3 hodin.



Obr. 5.1 Ukázka obložení formy chromitovou směsí u běžné spotřeby

U pořadového čísla B3 byl částečně sledován proces formování. Náznorný přehled operací po otevření formy a vyjmutí modelu uvádí následující tabulka 5.4.

Tab.5.4 Přehled operací a doba od vyjmutí modelu

operace	čas	poznámky
Vyjmutí modelu	11:15 – 11:30	Opravy, úpravy
Nátěr vršku	11:40 – 12:00	2x nátěr, nezapáleno
Nátěr spodku	12:00 – 12:15	2x nátěr, zapáleno
Nátěr jádra 1.pol	nezjištěno	Předchystáno včetně nátěru mimo dobu formování
Nátěr jádra 2.pol	12:10 – 12:20	2x nátěr, zapáleno, hned založeno do formy
Složení formy	12:50	Volně stojí na licím poli
Celková doba	1h 35min	

Celková doba od vyjmutí modelu do složení formy je do 2 hodin. Doba odstátí nesložené formy je tedy nulová. Obdobným postupem byly vyrobeny i ostatní formy.

Kvůli časové indispozici a omezenému prostoru ve formovně se po domluvě nechala jedna forma odstát otevřená jeden den. Následující záznam v tab. 5.5 uvádí podrobnější pohled na proces zaformování.

Tab.5.5 Forma č.10 – záznam o formování ze dne 19.1.2009

čas	operace
6:50	Začátek formování spodku
7:02	Poslední dávka ST směsi, následovala CT výplňová směs
7:20	Formování ½ jádra
7:38	Formování 2/2 jádra
7:47	Profukování CT směsi plynem
9:46	Vyjmutí jádra z jaderníku ½
9:15	Začátek formování vršku
9:20	Poslední dávka ST směsi, následovala CT výplňová směs
10:20	Profukování CT směsi plynem
11:30	Rozebrání formy, vyjmutí modelu, lehké opravy úpravy
11:50	Natírání první vrstvy nátěru
12:10	Spodek i vršek natřen, nátěr nezapálen
12:17	Natírání druhé vrstvy nátěru
12:25	Natřena ½ jádra první vrstvou nátěru
12:30	Vyjmutí jádra z jaderníku 2/2 a natřeno první vrstvou nátěru
12:30	Proveden 2. nátěr ½ jádra, zapáleno
12:35	Proveden 2. Nátěr 2/2 jádra, zapáleno V důsledku zavadnutí a nehoření nátěru bylo vlhké jádro vloženo do spodku formy
12:40	Forma volně leží

Následující den 20.1.2009 ve 13:00 forma složena

5.1.4 Výroba kovu a odlévání

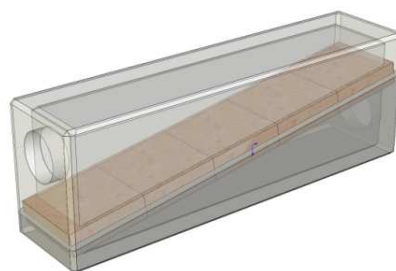
Tavby nízkolegované oceli A216WCC probíhaly ve 2 obloukových pecích se zásaditou vyzdívkou. K závěrečné dezoxidaci se používal hlavně hliník, výjimečně titan. Po odpichu se kov naléval do předeřáté pánve se spodní výpustí a dvěma různými průměry výlevky. Veškerá data zachycená s procesem výroby a odléváním kovu jsou uvedena souhrnně v kapitole 6.1.2 a v příloze 1.

U většiny odlitků bylo pro filtrování taveniny použito keramických filtrů od firmy Láník a Foseco. Odlitky označené B4, B5 a B6 nebyly filtrovány. Filtry byly dvojího druhu a byly umístěny ve vtokové soustavě odlišně. Viz obr. 5.2.

Informace o použitých filtech:

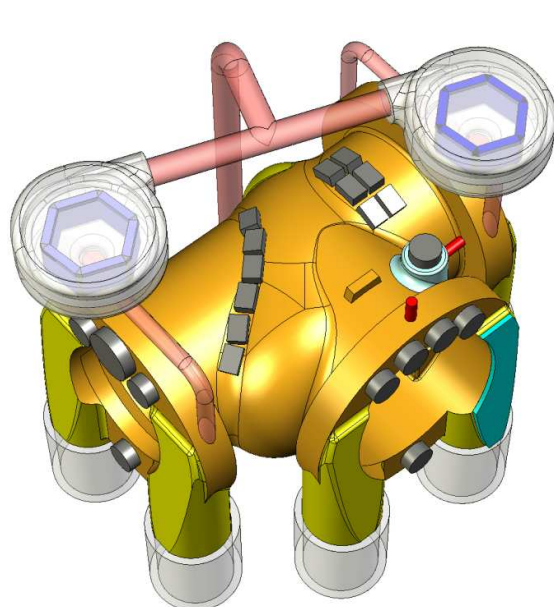
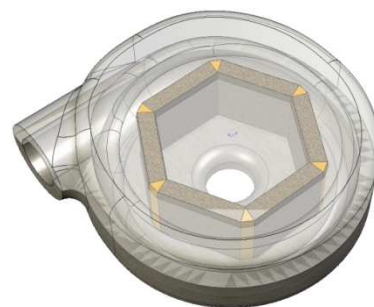
Filtrační rošty 5x4'' (LÁNÍK)

Rozměry filtru 120x170x540 mm
Přípojný průměr 80 mm
Filtrační kapacita 1,5 t
Licí rychlost 25 kg/s
Hmotnost 12kg

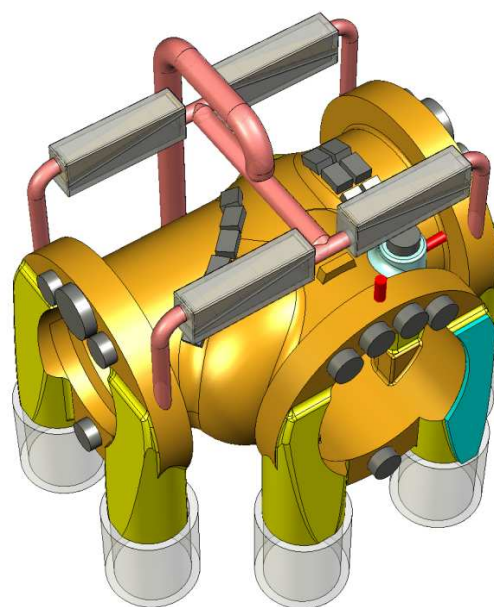


Filtrační karusel 6'' (FOSECO)

Výška 560 mm
Vnější průměr 220 mm
Přípojný průměr 100 mm
Hmotnost 35 kg
Keramické zirkonové filtry 150x150x(30)
Licí rychlost 281 kg/s
Filtrační kapacita 1800 kg
Hmotnost 35kg



a)



b)

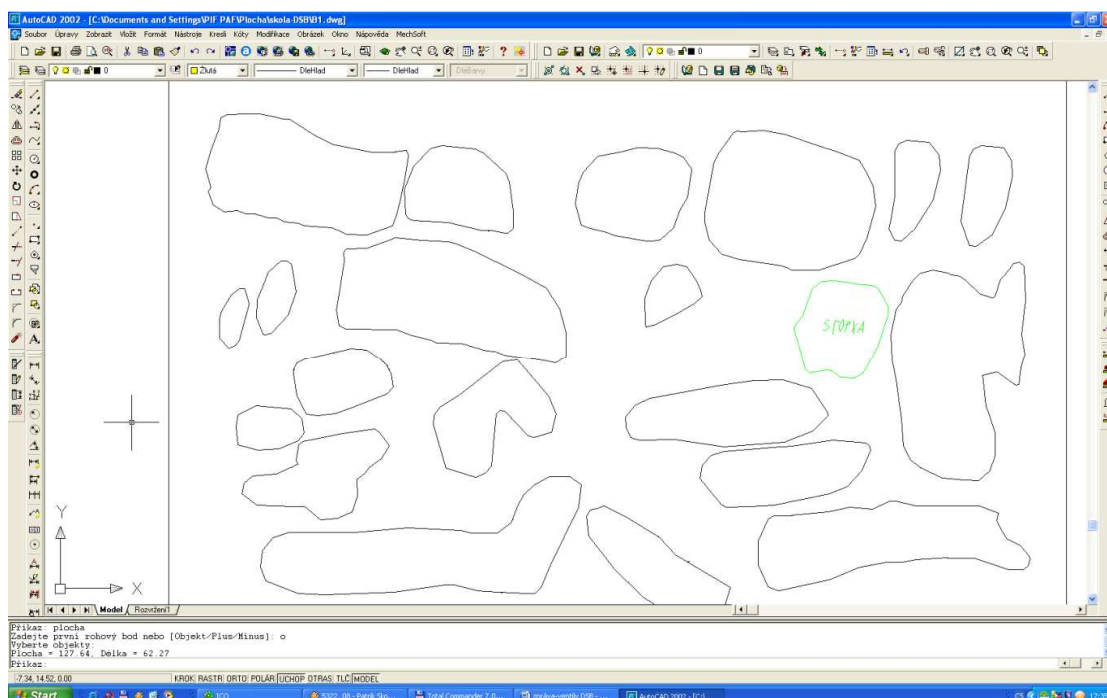
Obr. 5.2 Způsoby umístění filtrů ve vtokové soustavě - a) karusel, b) rošt

5.2 Metodika měření

5.2.1 Měření plochy vady po vydrážkování

Měření spočívalo v zaznamenání povrchu vydrážkovaných vad před první magnetickou polévací zkouškou, která je rozhodující pro objevení naprosté většiny vad. Měření po druhé nebo i třetí zkoušce nebylo prováděno, protože se při nich objevuje jen minimum vad. Převážně to byly prasklinky od svarů a některé opomenuté vady.

Povrch vad byl obkreslen na fólie, z kterých byly pomocí stolního skeneru převedeny do digitální podoby pro další zpracování na počítači. Výchozím se stal rastrový obrázek, který po vyretušování a úpravách byl vektorizován v programu *Algolab Raster to Vector Conversion Toolkit*. Po vektorizaci již bylo možné s křivkami pracovat v programu AutoCAD 2002 (obr. 5.3), ve kterém již byl vyčíslen obsah povrchu obkreslené křivky. Tato metoda byla zvolena kvůli času, přesnosti, většímu rozsahu vad a zkušenostím předchozích měření použitých v jiné práci [16] v rámci projektu pro DSB EURO.



Obr. 5.3 Ukázka zobrazení zpracování dat na monitoru

5.2.2 Měření objemu vady po vydrážkování

Objem vydrážkovaných vad byl změřen pomocí plastické hmoty užívané ve slévárně ve formě válečků na zabezpečení těsnosti dělicí roviny. Hmota byla namačkána do každé vydrážkované vady. Po vyjmutí hmoty z vady byl v odměrném válci s vodou změřen její objem.

5.2.3 Určení spotřeby svarového kovu

Pro určení spotřeby svarového kovu se vycházelo ze změřeného objemu vydrážkovaných vad. Výpočtem se zjistila váha kovu, kterou zaujímal samotný objem. Ve skutečnosti je potřeba více svarového kovu jelikož je nutné uvažovat s využitím elektrod.

U obalovaných elektrod je využití 67%, uvažovalo se však s 60%, protože svářeč navaří přídavek materiálu pro broušení. Tento postup byl ověřen na pracovišti kontrolou spotřeby elektrod, která ukázala, kolik svarového kovu bylo skutečně vyvařeno na odlitku. Ve srovnání s výpočtem se projevil nepatrný rozdíl. Kontrola proběhla u ventilu B4, který se dokončoval jako první a její záznam uvádí tab. 5.6.

Tab.5.6 Záznam kontroly spotřebovaných elektrod

Elektroda - typ	Kusů	Kusů/kg	Vyvařeno kg
1	2	3	4
Φ 6 mm	121	9.6	12,5
Φ 5 mm	234	15	15.6
Φ 4 mm	90	23	3.9
Ve skutečnosti použito kg elektrod			32

V prvním sloupci je uveden průměr použitých elektrod, ve druhém sloupci je pak uvedena zjištěná spotřeba elektrod jednotlivých průměrů. Třetí sloupec uvádí kolik kusů elektrod váží kilogram. Ve čtvrtém sloupci jsou přepočteny kusy použitých elektrod na jejich celkovou hmotnost.

Hmotnost svarového kovu v odlitku byla zjištěna na základě změřeného objemu vady pomocí výpočtu (4).

Příklad výpočtu:

$$m_{sk} = \frac{V_V \cdot \rho_{Fe}}{\mu} = \frac{2,48 \text{ dm}^3 \cdot 7,85 \text{ kg} \cdot \text{dm}^{-3}}{0,6} = 32,45 \text{ kg} \quad (4)$$

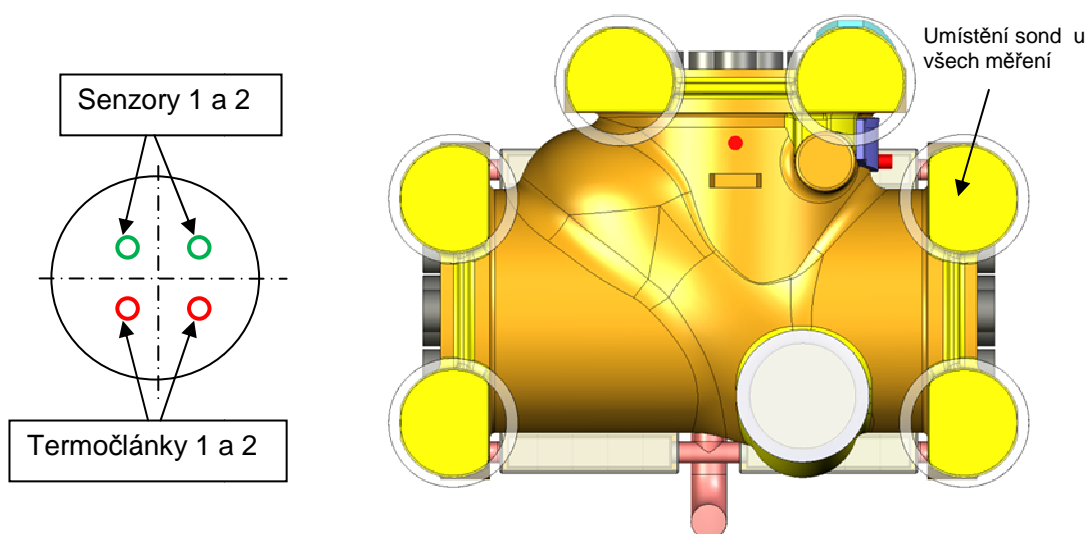
Výpočet souhlasí s realitou, a proto byl použit u všech ventilů ke zjištění hmotnosti použitého svarového kovu. Ventily B2, B6 a B7 byly dokončovány v kooperaci s podnikem ve Vítkovicích a byly zavařeny metodou CO₂, kde využití svařovacího drátu činí 97%. Do výpočtu bylo uvažováno s 90% využitím. Výsledky jsou zahrnuty v tab. 6.4 společně s měřením vad popsanych výše.

5.2.4 Měření aktivit kyslíku v peci a pánvi

Aktivita kyslíku v peci byla měřena pomocí kombinovaných kyslíkových sond TSO 6 od firmy Termosondy Kladno s.r.o. V pánvi se měřila aktivita po odpichu.

5.2.5 Měření aktivit kyslíku během odlévání

Pro určení aktivity kyslíku během odlévání a chladnutí ve formě byla pomocí termočlánků a kyslíkových senzorů (koncentračních článků) měřena teplota a elektromotorické napětí. Měření probíhalo v otevřeném izolovaném nálitku a pro určení teploty bylo použito termočlánků typu B (PtRh6-PtRh30). Aktivita kyslíku v nálitku byla měřena za pomoci kyslíkových senzorů odvozených od kyslíkových sond TSO 6. Sensory i termočlánky byly opatřeny ochrannými křemennými trubičkami a zasunuty do nálitku do hloubky asi 120 mm. Vedení sond a termočlánků bylo chráněno sibralem. Schéma rozmístění senzorů a termočlánků v nálitku formy jsou znázorněny na obr. 5.4.



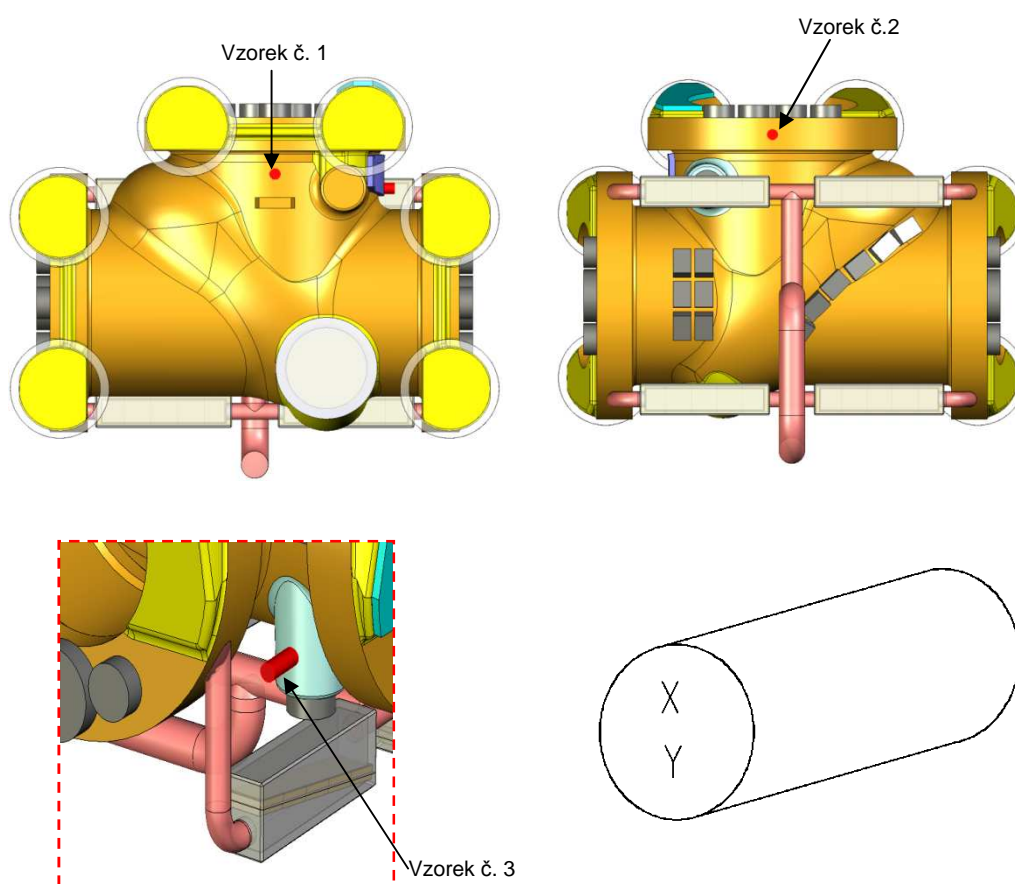
Obr. 5.4 - Rozmístění senzorů a termočlánků v nálitcích forem

5.2.6 Chemické složení kovu při tavbě a po odpichu

Chemické složení taveb je měřeno na spektrálním kvantometru přímo ve slévárně DSB EURO. Kontrolní rozbor byl proveden v kooperaci s laboratoří GRJ ŽĐAS a.s. na kvantometru 4460. Výsledky analýz kovu jsou uvedeny souhrnně pro všechny tavby v přílohách 1 a 2.

5.2.7 Chemické složení kovu v přilítých vzorcích po ztuhnutí

Chemické složení přilítých vzorků bylo prováděno výhradně ve firmě ŽĐAS, protože umožňuje mimo standardní analýzy chemického složení určit tzv. $Al_{r.k.}$ -hliník rozpustný v kyselině (hliník rozpuštěný v matrici). Výsledky analýz všech vzorků jsou uvedeny v příloze 2. Pro určení chemického složení kovu v přilítých vzorcích byla na základě simulace plnění a tuhnutí v programu PROCAST vytipována místa jejich umístění (obr. 5.5). Vzorky byly 3 o průměru 40 mm a délce 100 mm. Systém číslování zavedený proti záměně vzorků je též uvedeno na obr. 5.5. Označení X vyjadřuje pozici vzorku na odlitku a označení Y číslo odlitku.



Obr. 5.5 Pozice umístění vzorků a systém jejich číslování

5.2.8 Kontrola filtrů

Jelikož nastaly problémy při lití posledního ventilu, nechali se po ztuhnutí kovu odříznout všechny 4 kusy filtrů pro jejich kontrolu. Už při vytlučení odlitku z rámu bylo pouhým pohledem zřejmé, že filtry nefungovaly správně (obr. 5.6). Na rošttech bylo vidět, že kov mohl částečně natuhnout na filtru a tím se snížila jeho průtočnost a tím i licí rychlost. Dalším krokem bylo rozřezání filtrů. Tyto filtrační rošty byly rozřezány dle obr. 5.7, vybroušeny úhlovou bruskou a zkoušeny penetrační zkouškou. Výsledky kontroly filtrů jsou v kapitole 6.4.



Obr. 5.6 Detail nezaběhnutí kovu ve filtru



Obr. 5.7 Nástin provedení řezů filtrem

6. ZPRACOVÁNÍ VÝSLEDKŮ EXPERIMENTÁLNÍCH MĚŘENÍ

6.1 Vyhodnocení sledovaných parametrů ve výrobě

Pro posouzení technologických parametrů se vyhodnocovaly data spojená s výrobou formy, kovu a odléváním.

6.1.1 Forma

Pevnosti směsi se zkouší na pevnost ve stříhu v intervalech 2, 4, 8, a 24 hodin po namísení. Rozhodující je posouzení pevnosti ve stříhu za 24 hodin. U odlitek nad 1t je požadována pevnost 1 MPa, optimum je 1,2-1,4 MPa. U chromitové směsi je to minimálně 0,6 MPa. V případě odlévání dříve, než-li za 24 hodin je nutno dodržet předepsanou min. pevnost. Naměřené hodnoty pevnosti jsou pro všechny formy uvedeny v tab. 6.1.

Tab. 6.1 Pevnosti směsí ve stříhu v Mpa

Pojivo - ostřivo - čas		B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9	B10
Fenol - křemen	8 hod.	1.03		0.96		1.01	1.0		1.22		1.26
Fenol - křemen	24 hod.	1.18	1.28	1.32	1.02 1.32	1.22	1.21 1.18	1.38	1.34 >1.6	1.44	1.40
Fenol - chromit	8 hod.	1.04 0.98		0.97 0.86		0.82 1.02			1.02	0.9	0.76 1.06
Fenol - chromit	24 hod.	0.84 0.8	0.72	0.78 0.8	0.69 0.78	0.68 0.74	0.72	0.82	0.77 0.77	0.84 0.78	0.8 0.67

Dva údaje v jedné buňce tabulky znamenají dvojí měření.

Naměřené hodnoty byly v souladu s požadovanými hodnotami. Použitá samotuhnoucí směs (ST směs), která sloužila jako modelová a jádrová směs vyhovovala. Další formovací směs (CT 50), pojená vodním sklem, byla využívána jako výplňová. Tato nebyla měřena na pevnost.

Při výrobě forem se sledovala jejich základní data uvedená v tab. 6.2. U formy B10 je třeba zmínit, jak již bylo nastíněno v kapitole 5.1.3, že byla nechána jako jediná ponechána otevřená 24 hodin.

Tab.6.2 Základní údaje o výrobě forem

VRT-A6D-24/600 RJ	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9	B10
FORMOVÁNÍ	2.12.2008	2.12.2008	8.12.2008	8.12.2008	15.12.2008	15.12.2008	5.1.2009	8.1.2009	12.1.2009	19.1.2009
SMĚNA	R	O	R	O	R	O	O	O	O	R
OBKLAD	Cr 0	Cr 0	Cr 1	Cr 1	Cr 2	Cr 0	Cr 0	Cr 0	Cr 0	Cr 0
FILTRACE	FK	FR	FK	NE	NE	NE	FK	FK	FR	FR
DOBA Odstátí (složených forem)	21	15,5	21	16	20	14,75	21	15	12,25	24 23,5*
ODLÉVÁNÍ	3.12.2008	3.12.2008	9.12.2008	9.12.2008	16.12.2008	16.12.2008	6.1.2009	9.1.2009	13.1.2009	21.1.2009
VYTLOUKÁNÍ	8.12.2008	9.12.2008	15.12.2008	15.12.2008	22.12.2008	22.12.2008	12.1.2009	14.1.2009	19.1.2009	27.1.2009

Vysvětlivky:

Směna: R- ranní, O- odpolední

Obklad: Cr 0 - podle běžné technologie (250 kg), Cr 1- zvýšená spotřeba chromitu (350kg),

Cr 2 – vysoká spotřeba chromitu (850 kg).

Doba odstátí složených forem je udána v hodinách, * Doba odstátí otevřené formy

Filtrace: FK – k filtraci použit karuselový systém, FR – k filtraci použit filtrační rošt

6.1.2 Kov

Tavby nízkolegované oceli dle ASTM A216WCC probíhaly ve 2 obloukových pecích se zásaditou vyzdívkou. Chemické složení během tavby a před odpichem do pánve je uvedeno v příloze 1. Závěrečná dezoxidace se prováděla hliníkem. První čtyři tavby byly dezoxidovány titanem. Výsledky sledování procesu spojených s odléváním jsou shrnuty v tab. 6.3.

Tab 6.3 Hodnoty související s odléváním kovu

1002-08754/	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9	B10
ČÍSLO TAVBY	1/ 7233	1/ 7234	2/ 6816	2/ 6817	2/ 6830	2/ 6831	1/ 7266	2/ 6848	2/ 6852	2/ 6864
KAMNA [hod.]	2,75	2	3	3,5	3	2	5	4,5	2,5	0
PŘEDEHŘEV PÁNVE [hod.]	2,75	2,25	2,75	2,5	2,25	2	2	2,75	3	3,5
TEPLOTA NA ŽLÁBKU [°C]	1590	1622	1590	1600	1615	1600	1605	1620	1645	1620
TEPLOTA LICÍ [°C]	1560	1580	1560	1565	1585	1575	1575	1595	1605	1595
DOBA LITÍ [s]	143	75	82	65	-	-	-	80	96	138
VÝLEVKA [mm]	80	80	70	70	70	70	80	70	80	80
ODLITÝ KOV [kg]	5920	5340	5660	5140	5280	5200	5640	5600	5480	5440
FILTRACE	FK	FR	FK	NE	NE	NE	FK	FK	FR	FR

Vysvětlivky:

Teplota lící – po odpichu byla teplota upravována argonováním v pánvi. Teplota uvedená jako lící je tedy po argonování.

DOBA LITÍ [s] – u B5, B6, B7 se nepodařilo dobu lití změřit

FILTRACE: FK – k filtraci použit karuselový systém, FR – k filtraci použit filtrační rošt

Poznámky k lití:

B1 - Doba lití 2'23'' asi po 1' lití, kdy hladina kovu byla cca 10 cm od nálitků, začal kov vytékat spodem, mezi plotnou a rámem. Vyteklo asi 100kg kovu. Po přerušení lití zhruba na 20'', se únik kovu zastavil. Forma poté dolita. Ve vtokové soustavě dva karusely 6''.

B2 - Doba lití: 41'' kov je v nálitcích
60'' kov je 3 cm od vrchu nálitku
15'' dolévání po jejich okraj.
75'' Celkem

Ve vtokové soustavě byly 4ks 4'' filtrů (koryt) Láník

B5 - Jeden z nálitků přelit.

B7 - Lito přes karusel, ke konci lití špatně zabíhalo. Dva vrchní ISO kroužky neodlity- nájezd nad nálitek a dolití do plna.

B3, B4, B6, B8, B9, B10 nejsou uvedeny žádné zvláštní záznamy

6.2 Vyhodnocení ploch a objemů vad

Na sledovaných odlitcích se vyskytovala zejména sekundární struskovitost a trhliny. V tabulce 6.4 jsou zaneseny objemy a povrchy celkově bez. Není tak rozlišeno kolik % by zaujala každá specifická vada ze všech přítomných vad. Rozlišení vad po otryskání odlitku bylo provedeno jen u ventilů B1, B3, B9 a B10. U těchto odlitků byly vady při jejich označování po magnetické polévací zkoušce barevně odlišeny. Trhliny jako rozlišitelné vady jsou tedy odděleny od ostatních vad (viz. tab. 6.5). Celkový objem a povrch odlitku byl zjištěn ze simulačního programu PROCAST.

Celkový obsah povrchu odlitku činí

$$10,327 \text{ m}^2 = 1032,7 \text{ dm}^2$$

Objem odlitku je

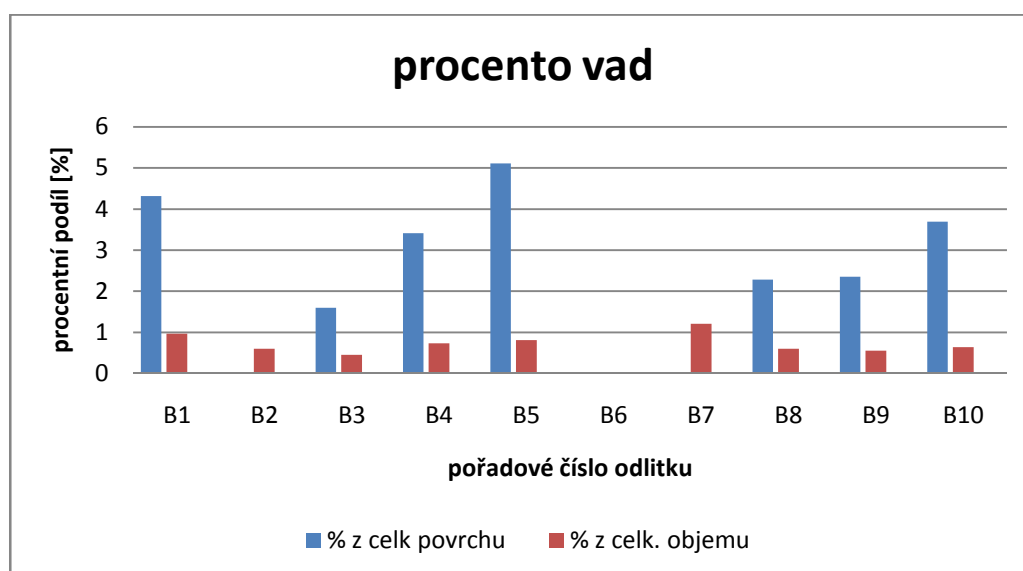
$$0,342 \text{ m}^3 = 342 \text{ dm}^3 = 342 \text{ l}$$

Tab. 6.4 Výsledky sledování obsahů a objemů vydrážkovaných vad

1002-08754/	Obsah povrchu vad [dm ²]	% z celkového obsahu povrchu	Vydrážkovaný objem vad [dm ³]	% z celkového objemu odlitku	Svarový kov [Kg]
B1	44,65	4,32	3,32	0,97	43,44
B2	-	-	2,06	0,60	18
B3	16,53	1,60	1,53	0,45	20,02
B4	35,2	3,41	2,48	0,73	32,45
B5	52,79	5,11	2,77	0,81	36,24
B6	-	-	-	-	-
B7	-	-	4,13	1,21	36
B8	23,51	2,28	2,04	0,60	26,62
B9	24,28	2,35	1,9	0,55	24,79
B10	38,13	3,69	2,18	0,64	28,52

Data značená v tabulce červeně (B2, B6, B7) byla poslána z podniku, provádějícím čistírenské operace v kooperaci, neúplná. Ostatní data byla stanovena přímo v DSB. Dále se tedy pracuje výhradně s daty naměřenými v DSB. Udaná spotřeba elektrod byla určena způsobem popsáním v kapitole 5.4. Grafické znázornění dat z tab. 6.4 představuje graf 6.1.

Při měření bylo zjištěno, že vady typu trhliny se významně podílejí na celkovém měření ploch a objemů. Proto bylo provedeno u 4 odlitků detailnější sledování, kde se rozlišovaly i vady typu trhlin a sekundární struskovitosti. Data jsou uvedena v tab. 6.5.



Graf 6.1 – Procento vad u jednotlivých odlitků

Tab. 6.5 Rozdělení povrchy o objemy vad struskovitosti a trhlin

	Vady typu struskovitost				Vady typu trhliny			
	Plocha vad [dm ²]	Plocha vad [%]	Objem vad [dm ³]	Objem vad [%]	Plocha trhlin [dm ²]	Plocha trhlin [%]	Objem trhlin [dm ³]	Objem trhlin [%]
B1	34,62	77,54	1,69	50,90	10,03	22,46	1,63	49,10
B3	5,02	30,37	0,20	13,07	11,51	69,63	1,33	86,93
B9	16,47	70,06	0,87	45,79	7,81	33,22	1,03	54,21
B10	25,60	67,14	1,28	58,72	12,53	32,86	0,90	41,28

Oddělením trhlin od ostatních vad se ukázalo, že trhliny tvoří procentuálně v průměru z celkového obsahu vydrážkované plochy přes 30% a z vydrážkovaného objemu vad až polovinu. Objem vydrážkovaných trhlin se

pohybuje v průměru $1,22 \text{ dm}^3$ na odlitek. Znamená to, že ze zavařených vad připadá na trhliny až polovina svarového kovu

6.3 Vyhodnocení aktivit kyslíku

Měření aktivit kyslíku proběhlo u odlitků B8, B9, B10. Záznam průběhu naměřených teplot a aktivit kyslíku z měření kyslíkových senzorů a termočlánků je uveden na grafech 6.2, 6.3 a 6.4.

Průběhy teploty v místě 1, teploty v místě 2, aktivity v místě 1 a aktivity v místě 2, jak jsou označeny v legendě grafů, odpovídají rozmístění sond a termočlánků v nálitku formy uvedeném na obr.5.4. Naměřené hodnoty lze porovnávat s údaji uvedených v tab. 6.6. Tyto údaje uvádí, že při teplotě kolem 1521°C a obsahu zbytkového hliníku v rozmezí 0,02 až 0,04 hmotnostního %, by se aktivita kyslíku měla pohybovat v hodnotách nižších než cca 34 ppm. Naměřené aktivity kyslíku při teplotách likvidu jsou uvedeny v tab. 6.7 ze dvou senzorů pro jeden měřený odlitek. Tyto hodnoty byly vyčteny ze záznamu měření a vyneseny do grafu.

Tab. 6.6 - Aktivity kyslíku podle literatury [15]

a_{O} [ppm] při $T_{\text{likv.}}$	$T_{\text{likv.}}$ [$^\circ\text{C}$]	Al _{celk.} [hmot. %]	teplotní závislost a_{O} (T uvedeno v K)	odpovídající a_{O} [ppm] při $T = 1521^\circ\text{C}$
20,5	1 506	0,023	$\ln a_{ \text{O} } = -\frac{17\,065}{T} + 12,43$	18,51
15,9	1 511	0,047	$\ln a_{ \text{O} } = -\frac{8\,604}{T} + 7,57$	16,03
49	1 521	0,021	$\ln a_{ \text{O} } = -\frac{22\,581}{T} + 16,11$	33,92

Tab. 6.7 Aktivity kyslíku při teplotě 1521°C

	Senzory B8		Senzory B9		Senzory B10	
Teplota [$^\circ\text{C}$]	a_{O} [ppm] 1	a_{O} [ppm] 2	a_{O} [ppm] 1	a_{O} [ppm] 2	a_{O} [ppm] 1	a_{O} [ppm] 2
1521	28,76	24,14	12,56	9,24	-	11,23*

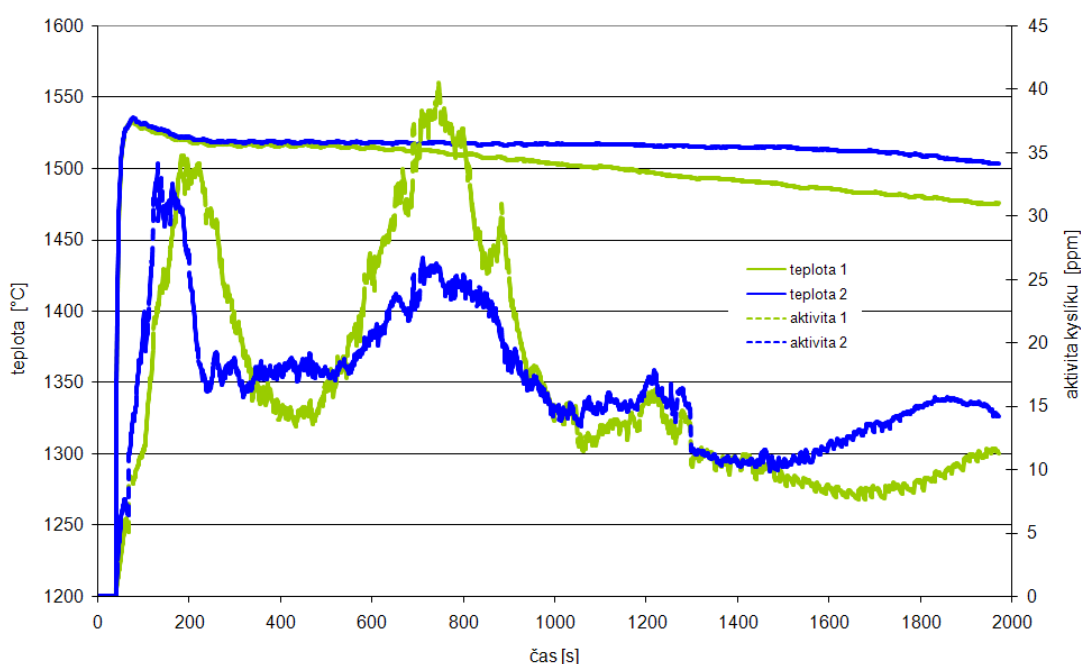
Hodnota označená * byla za teploty kovu 1519°C .

Z tab. 6.7 vyplývá, že naměřené hodnoty aktivit se při daných teplotách pohybují v rozmezí cca 9,24 – 28,76 ppm, což odpovídá údajům, které uvádí

tabulka 6.6 z literatury [15]. Aktivita kyslíku je tedy dostatečně nízká k tomu, aby nevznikaly oxidy slabších dezoxidovadel než je hliník.

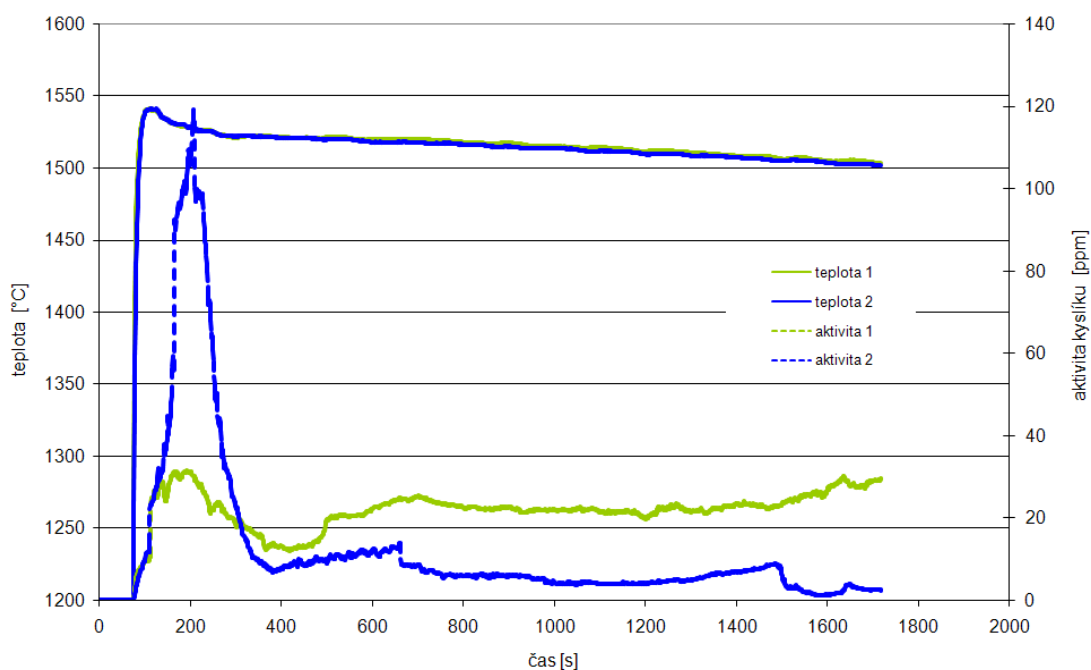
Co se týče měření aktivit kyslíku mimo formu, tzn. v peci a pánvi, lze uvést záznamy při měření u odlitku B9, ostatní měření (B8, B9) provázely poruchy na měřidlech a nelze je tedy hodnotit.

Při redukčním údobí tavby byla za teploty 1630°C naměřena aktivita kyslíku 31 ppm, pánvi po odpichu pece bylo při teplotě kovu 1635°C naměřeno 20,5 ppm a po argonování při 1600°C to bylo 11 ppm. Z měření v dutině formy odlitku B9 víme (tab. 6.7), že hodnota aktivity kyslíku byla asi 13 ppm, což je víc než v pánvi po argonování. Tento fakt nasvědčuje tomu, že při procesu odlévání kovu mohla probíhat reoxidace.



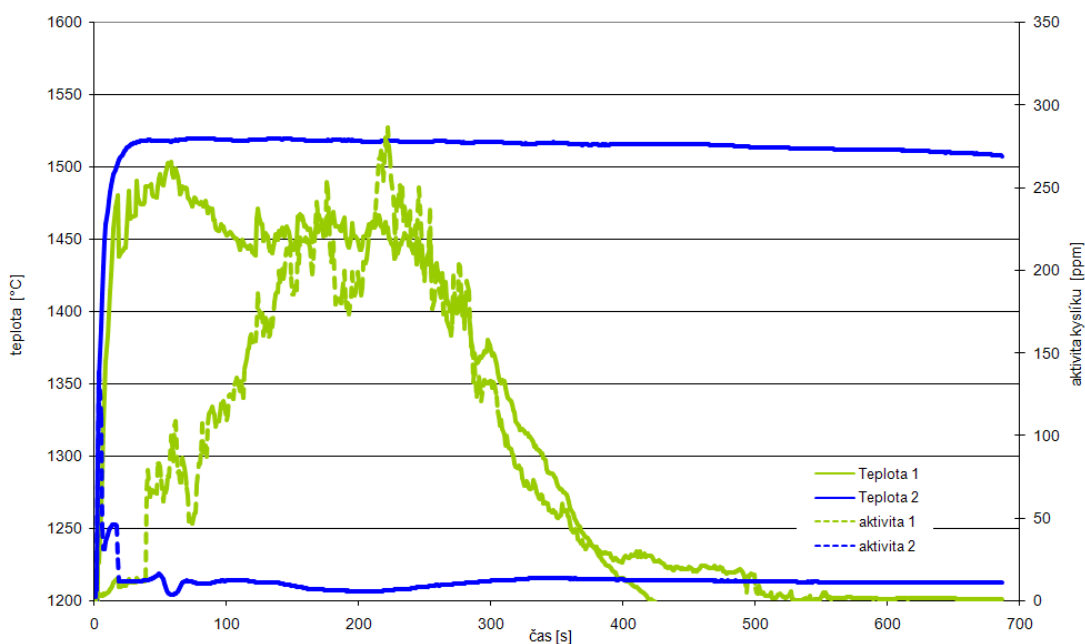
Graf. 6.2 - Průběh naměřených teplot a aktivit kyslíku v odlitku B8

Počáteční teplota byla u odlitku B8 po nalití kovu do formy 1532 °C, což je více jak teplota likvidu a z grafu lze vyčíst skokovou změnu při počátku tuhnutí.



Graf. 6.3 - Průběh naměřených teplot a aktivit kyslíku v odlitku B9

Počáteční teplota kovu u odlitku B9 byla po nalití 1541°C.



Graf. 6.4 - Průběh naměřených teplot a aktivit kyslíku v odlitku B10

Kov po nalití odlitku B10 měl teplotu 1519°C, což je pod teplotou likvidu. Není tedy vidět v grafu skokovou změnu aktivity kyslíku a lze též vyčíst, že jeden senzor nefungoval správně, protože došlo k závadě spojení. Skutečnost, že

kov začal natuhávat hned po nalití, je dána zřejmě tím, že forma č. 10 nebyla sušena kamny před litím a měla tedy teplotu okolí.

6.4 Vyhodnocení změny chemického složení

V důsledku reoxidačních pochodů dochází k oxidaci, neboli k propalu, nejsilnějších dezoxidačních prvků. Proto byly k odlitkům přility válcové vzorky a změna chemického složení byla porovnávána mezi tavebním vzorkem a třemi přilítými vzorky, resp. jejich průměrné hodnotě. Na základě rozdílu koncentrace hliníku, jakožto nejsilnějšího reoxidačního prvku lze usuzovat o rozsahu reoxidace taveniny v průběhu odlévání kovu. Rozdíly chemického složení tavebního vzorku a přilitého vzorku jsou uvedeny v Tab. 6.8. Chemické složení kovu odebraného z pánve a přilítých vzorků je v příloze 2.

V 1. sloupci je uvedeno označení odlitku. Ve 2. až 7. je uvedeno chemické složení vybraných prvků z tavebního vzorku. Ve sloupcích 8. až 11. je průměr odchylek chemického složení přilítých vzorků od tavebního vzorku. Odchyly jsou počítány jako rozdíl koncentrace prvku v pánvi a v přilitém vzorku. V 12. vzorku je uveden rozdíl mezi celkovým obsahem hliníku a obsahem hliníku rozpuštěným v matici v tavebním vzorku.

Tab. 6.8 Chemické složení vybraných prvků z tavebního vzorku a rozdíly mezi tavebním vzorkem a průměrnou hodnotou přilítých vzorků

odlitek č.	%C	%Mn	%Si	%Cr	%Al	%Al _{r.k.}	Δ Si	Δ Cr	Δ Al	Δ Al r.k.	Al-Alr.k.
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
B1	0,19	1,16	0,39	0,15	0,036	0,031	0,0067	0,0167	0,0010	0,0000	0,0050
B2	0,18	1,13	0,43	0,11	0,036	0,030	0,0600	0,0100	0,0070	0,0060	0,0040
B3	0,19	1,12	0,46	0,25	0,035	0,030	0,0500	0,0033	0,0060	0,0053	0,0050
B4	0,21	1,17	0,40	0,25	0,019	0,014	0,0000	0,0000	0,0007	0,0007	0,0050
B5	0,21	1,14	0,38	0,14	0,024	0,020	0,0000	0,0133	-0,0023	-0,0013	0,0040
B6	0,20	1,16	0,46	0,06	0,029	0,025	-0,0033	0,0000	-0,0007	-0,0003	0,0040
B7	0,18	1,22	0,29	0,10	0,029	0,023	0,0033	0,0000	0,0023	0,0010	0,0060
B8	0,21	1,23	0,48	0,15	0,035	0,029	0,0133	0,0500	0,0013	0,0010	0,0060
B9	0,20	1,16	0,28	0,13	0,018	0,010	0,0200	0,0100	0,0010	-0,0027	0,0080
B10	0,21	1,21	0,30	0,12	0,033	0,025	0,0100	0,0033	0,0010	0,0000	0,0080

Z výsledků analýzy vyplývá, že došlo ke změně koncentrace hliníku celkového mezi vzorkem z pánve a vzorky přilítými. Lze tedy předpokládat, že je způsobena reoxidací kovu. V takovém případě lze také předpokládat korelaci mezi propalem hliníku celkového a křemíku.

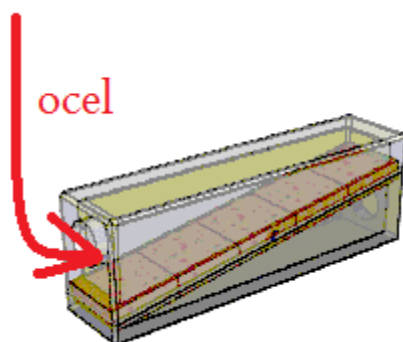
U sledovaného souboru je statistická závislost mezi propalem hliníku celkového a křemíku popsána rovnicí (5):

$$\Delta Al_c = -0,0002 + 0,1184 \Delta Si \quad R=0,92 \quad (5)$$

Výsledné obsahy hliníku u odlitků B4, B5 a B9 jsou nižší, než se obvykle doporučuje pro ocel na odlitky a mohou být příčinou bodlin na povrchu odlitků. I přesto se u žádného z odlitků bubliny neobjevily. Největší změna obsahu hliníku mezi vzorkem z pánve a přilýtlými vzorky byla zaznamenána u odlitků B2 a B3. U těchto odlitků byla registrována také výraznější změna obsahu křemíku a nejvyšší obsahy hliníku. Odlitek B3 byl dokončen v DSB EURO a měl nejmenší rozsah vad. Odlitek B2 zpracovaný ve Vítkovicích nebyl podroben stejnému měření, avšak podle spotřeby svarového kovu lze posoudit, že patřil mezi odlitky s nejmenším rozsahem vad.

6.5 Vyhodnocení filtrů

Při hodnocení použité filtrace bylo zjištěno, že byly při formování filtrační rošty pootočený o 90°C kolem pomyslné osy v protínající stěny filtru se vtokem a výtokem. Tuto chybu, která nastala u všech forem, se podařilo zachytit až po vytlučení odlitku z formy. Správná poloha je naznačena na obr. 6.1, na obr. 6.2 je možné vidět polohu nesprávnou, změněnou



Obr.6.1 Správná poloha filtračního roštu



Obr.6.2 Skutečná (nesprávná) poloha filtračního roštu

Rentgen vybraného filtračního roštu sice ukázal, že nedošlo k narušení filtru a na roštu byly patrné dva větší shluky nečistot, ale rozříznutí filtrů ukázalo opak. Příklady nedostatků filtrů demonstrují obrázky 6.3 a 6.4.



Obr. 6.3 Detail mezery s odštipnutým rohem filtru

Závada byla zjištěna z výbrusů filtrů, které byly zvýrazněny penetrační zkouškou – viz. obr. 6.4. Ukázalo se, že u dvou roštů se v linii filtrů objevila bílá místa, která signalizovala absenci filtru. Navíc při proudění kovu touto mezerou se ulamovaly kousky filtru, které mohly být zdrojem vměstků v odlitku společně s dalšími, které prošly mezerou a nebyly tedy zachyceny. Filtr tak neplnil svou funkci a ztrácel na účinnosti.



Obr. 6.4 Fotografie dalších filtrů zvýrazněných penetrační zkouškou

Příčina mezery byla objasněna po rozdělení nepoužitého filtru (obr. 6.5) Jednotlivé kazety filtru měli mezi sebou tak velkou vůli, že při posunutí kazet vznikala mezera dosahující šířky až 20 mm. S tímto nedostatkem filtračního roštu bylo celkově v DSB použito 35 kusů, z toho 12 kusů na výrobu sledovaných ventilů, než byla zjednána náprava výrobcem.



Obr. 6.5 Mezera mezi filtry ve filtračním roštu

Druhý typ filtru - filtrační karusel, nevykazoval žádné nedostatky a nebyl podroben žádným jiným zkouškám či pozorování.

6.6 Vyhodnocení zjištěných vad

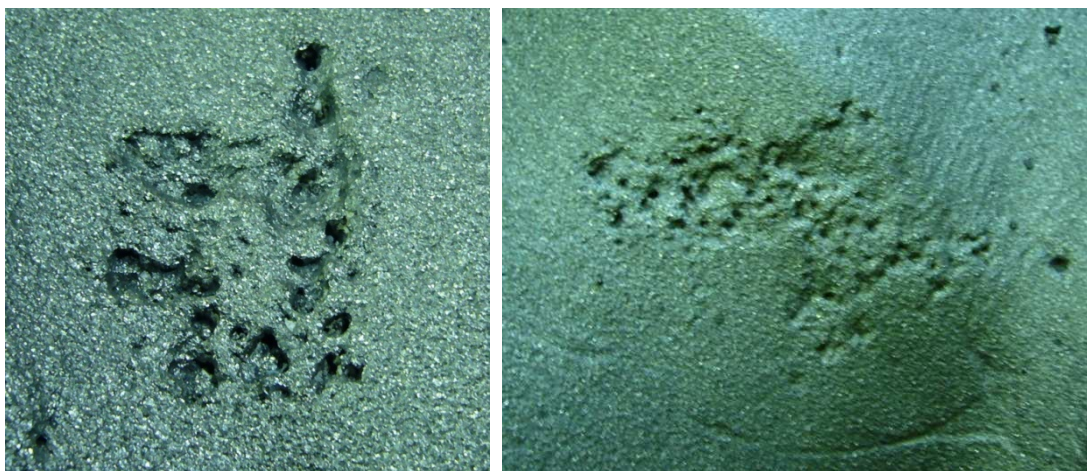
Objevené a rozpoznané vady na sledovaných odlitcích jsou zařazeny podle klasifikace vad uvedené v publikaci[1].

510 Struskovitost, 511 Struskovitost exogenní, 512 Sekundární struskovitost

U sledovaných odlitků byl pozorován výskyt otevřených nebo uzavřených dutin většinou na horní ploše odlitku. Místy bylo vidět spečenou vrstvu formovacího materiálu, či místa označována jako "bílá místa". Rozpoznání této vady po otryskání bylo obtížné, protože struska již není okem viditelná a k jejímu určení by bylo zapotřebí metalografického rozboru. Ukázky rozpoznaných vad uvádí obr. 6.6 a 6.7. Vada byla někdy doprovázena bublinami.



Obr. 6.6 Charakteristický vzhled vady před otryskáním



Obr.6.7. Vada způsobená sekundární struskovitostí po otryskání

272 Zvrásněný povrch

Odlévání odlitku B7 provázely problémy. Dlouhá doba lití a problémy s filtry v kombinaci s teplotou kovu zřejmě způsobily rozsáhlé zvrásnění povrchu tohoto odlitku.



Obr. 6.8 Zvrásněný povrch odlitku B7

310 Trhliny, 311 Povrchové (otevřené) trhliny

Viditelné natržení charakteristické křivolakým průběhem. Některé trhliny masivnějšího rozměru byly zjištěny pouhým okem již po vytlučení nebo otryskání, dosahovaly délky až 60 cm. Příčinou jejich vzniku byl zřejmě odpor jádra při tuhnutí odlitku.



Obr. 6.9 Otevřená trhlina „patice“



Obr. 6.10 masivní otevřená trhlina z vnitřní strany odlitku v délce 30cm

Ostatní trhliny byly zjištěny po první magnetické polévací zkoušce. Nejčastěji se objevovaly v okolí přírub odlitku a v okolí „patice“. Ukázky trhlín na odlitcích ventilů jsou na obrázcích 6.9 a 6.10.

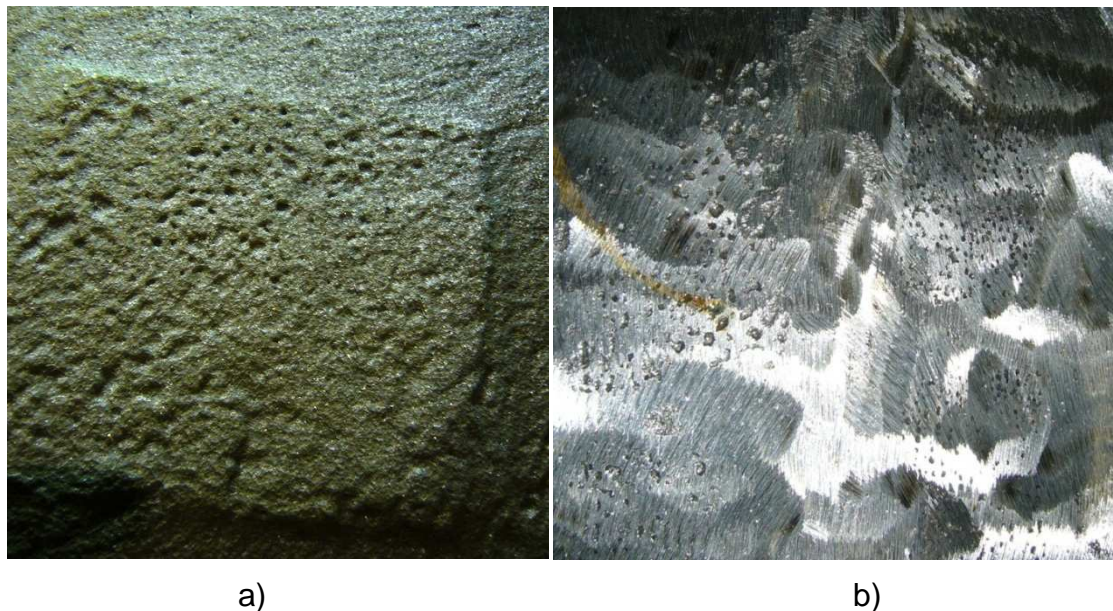
320 Praskliny

Praskliny byly nalezeny v těsné blízkosti opravených vad svařováním.

432 Odvařeniny od chladítek a zalévaných předmětů

Pozorovány byly povrchové i uzavřené dutiny objevené po obroušení na všech odlitcích. Ve většině případů zasahovaly pod povrch a musely být opravovány

zavařováním. Hloubka zavaření však byla mělká. Snímek odvařeniny od chladítka je na obr. 6.11.



Obr. 6.11 Detail odvaření od chladítek a) před broušením, b) po obroušení

212 Povrchové připečeniny

Tenká vrstva písku spojená s povrchem odlitku se odstranila opakovaným tryskáním. Objevovala se v okolí přírub zevnitř téměř všech odlitků v rozsahu, jak znázorňuje obr. 6.12. Z vnější strany příruby byla vada jen místně v menším rozsahu, než je na fotografii.



Obr 6.12 Povrchová připečenina v okolí příruby a její detail

273 neštovice

Tento typ vady byl zpozorován u odlitku B5. Charakteristické dolíčky na povrchu odlitku se objevily z vnitřní strany odlitku. Viz. obr. 6.13.



Obr. 6.13 Neštovice na odlitku B5

133 Nevhovující rozměry

U všech odlitků se po proměření zjistilo, že mezi „patkami“ rozměr nevyhovuje. Na obr. 6.14 naznačuje nevhovující rozměr červená kóta.



Obr.6.14 Neshodný rozměr

7. DISKUSE VÝSLEDKŮ EXPERIMENTÁLNÍCH MĚŘENÍ

Pro obecnější hodnocení vad bylo zvoleno kritérium udávající objem zjištěných vad k celkovému objemu odlitku (objem vad [%]). Dle kriteria objemu vad (vydrážkovaných) z celkového objemu byla sestavena tabulka 7, která popisuje seřazení ostatních dat dle objemu vad a lze ji rozdělit na 3 skupiny. Hodnotit data statisticky nelze z důvodu malého souboru dat, což je dáno kusovou výrobou odlitků armatur v DSB EURO.

Tab. 7.1 Seřazení odlitků do skupin dle %-ního objemu vad z celkového objemu odlitku

Skupina	VENTIL	FILTR	CHROMIT [kg]	CHYBA U LITÍ	TEPLOTA LICÍ [°C]	DOBA LITÍ [s]	OBJEM VAD [%]
1	B3	FK	350	Ne	1560	82	0,45
	B9	FR	250	Ne	1605	96	0,55
	B8	FK	250	Ne	1595	80	0,60
	B2	FR	250	Ne	1580	75	0,60
2	B10	FR	250	ANO	1593	138	0,64
	B4	NE	350	Ne	1565	65	0,73
	B5	NE	850	Ne	1585	-	0,81
3	B1	FK	250	ANO	1560	143	0,97
	B7	FK	250	ANO	1575	-	1,21

Vysvětlivky:

FR - filtrační karusel, FK - filtrační rošt

B6 nehodnocen

První skupina je soubor odlitků s objemovým procentem vad do 0,6%. Druhá skupina řadí odlitky od 0,6 % do 0,9% a třetí od 0,9% výše.

Vliv filtrace kovu:

Filtrace kovu nevystupovala v hodnocení jako významný parametr. Všechny odlitky, které jsou v 1. skupině, byly filtrovány karusely i rošty početně shodně. Nejmenší část vad byla u odlitku B3 filtrovaného karuselem. B9 jako druhý nejlépe hodnocený odlitek měl filtr typu rošt. Nefiltrované odlitky byly B4 a B5 spolu s B10, filtrovaným roštem a u kterého se objevila špatná funkce, ve skupině 2. Omezená funkce filtru mohla být způsobena již zmíněnou špatnou

polohou filtru (pootočení), která mohla ovlivnit výslednou kapacitu filtrační soustavy a také průtočnou rychlost oceli. Nasvědčovalo tomu též výrazné zvýšení licí doby. Odlitky 3. skupiny, ač filtrované, se zřejmě s těmito problémy potýkaly.

Probíhá další zkoumání i filtrů jiných výrobců. I přes pořizovací náklady filtrů je to ekonomické a odlitky tohoto typu a velikosti jsou standardně odlévány s filtry ve vtokové soustavě.

Spotřeba chromitu na výrobu forem:

Při uvedené způsobu hodnocení se neukázala spotřeba chromitu jako významný faktor působící na rozsah vad v tab. 7.

Vyšší spotřeba chromitu, respektive zvýšený obklad modelu chromitem byl v první skupině zastoupen jen u odlitku B3, zbývající odlitky měli běžnou spotřebu. Druhá skupina obsahovala odlitky všechny tři možné spotřeby chromitu na obklad. V pořadí spotřeby běžná (B10), zvýšená (B4) a vysoká (B5). 3. Skupina odlitků se vyznačovala s běžnou spotřebou chromitu při výrobě forem. Zvýšené množství použitého chromitového ostřiva mělo pozitivní vliv na snížení vad typu připečenin a částečně i trhlin. Dosavadní technologie s běžnou spotřebou 250 kg chromitu se změnila ve slévárně DSB na 350 kg, což se stalo nynějším standardem.

Chyba u lití:

Chyba při lití se ukazuje jako důležitý technologický faktor. U všech odlitků v první skupině probíhalo lití bez problémů.

Teplota oceli v pánvi při lití:

U 1. skupiny odlitků byla průměrná teplota oceli 1585 °C, u druhé skupiny 1581 °C a u třetí 1567 °C. Vyjma jednoho odlitku (B3), byly u všech odlitků 1. skupiny teploty nad 1575°C

Doba lití:

Doba lití souvisela s výskytem problému u lití. U odlitků 1. skupiny činila oba lití odlitku nejvíce 96 sec. U odlitků 3. skupiny, u nichž se vyskytla chyba při lití, se zaznamenala nejvyšší licí doba i největší procento vad. U odlitku B1 nastalo tečení formy při odlévání s následným přerušením lití. U odlitků B7 a B10 byly problémy při lití způsobeny špatnou funkcí filtrů. Přerušené lití tak

zkresluje výsledek sledování technologických parametrů na rozsah vad, jelikož je významné na vznik vad a ostatní parametry překrývá. U odlitků B5, B6 a B7 nebyla změřena doba lití.

Vliv dalších parametrů na vady:

Doby odstátí složených forem byly u 1. skupiny od 12,5 do 21 hodin, což byl interval, ve kterém se pohybovala doba odstátí celé série odlitků, kromě B10. U něho stála forma prvně 24 hodin nesložená, následujících 23,5 hodiny již složená.

Foukání teplého vzduchu do forem kamny se pohybovalo od 2 do 5 hodin, předeheřev pánve od 2 - 3,5 hodiny. Jak předeheřev pánve, tak sušení formy nebylo dále hodnoceno a významně se na jakosti neprojevilo, stejně tak i použité dva průměry výlevky 70 a 80 mm. Forma B10 nebyla sušena, což se projevilo prodloužením licí doby, kterou mohlo způsobit „zamrzání“ kovu ve filtru.

U odlitků zařazených do 1. skupiny byl zjištěn největší propal hliníku a křemíku během lití. Při měření aktivit, byly naměřené hodnoty, které odpovídají dostatečně dezoxidovaným tavným, čili metalurgie je ve slévárně zvládnuta.

Kromě zjištěné vady filtru, která zřejmě měla také vliv na hodnocení rozsahu vad, se dále při vyhodnocování zjistilo, že na objem vydrážkovaných vad má významný vliv výskyt trhlin, zejména ty masivnějšího charakteru. Příčiny vzniku trhlin jsou odlišné od sledovaných, reoxidačních vad. Hodnocení vad společně má vliv na výsledky měření a jejich interpretaci. Bylo nutno oddělit vady od sebe a hodnotit samostatně. Rozlišení trhlin a ostatních vad bylo na základě zjištění velkého podílu trhlin přesněji změřeno u 4 odlitků B1, B3, B9 a B10. Z tab. 6.5 lze zdůraznit objemové procento trhlin vydrážkovaných vad zmíněných odlitků tvořilo průměrně až polovinu, tudíž i svarového kovu. Největší objem trhlin měl odlitek B3, naopak nejmenší odlitek B10. Z hlediska licí doby měly odlitky B3 a B9 podíl vad plošně do 25 dm², kdežto u odlitků B1 a B10 litých přes 2 minuty se pohyboval plošný podíl vad okolo 40 dm². Na podílu trhlin se licí doba neprojevila. Rozdíly v licích teplotách těchto odlitků byly 30 stupňů. Odlitky s vyšším výskytem trhlin byly odlity za nižší teploty. Rovněž obsah Al r.k. je u odlitků s větším výskytem trhlin vyšší.

7.1 Ekonomické hodnocení

V ekonomickém hodnocení se počítá změnou podílu spotřeby chromitové směsi, náklady na filtraci a náklady na opravy svařováním. Ostatní náklady na výrobu jsou uvažovány jako neměnné. Cenové náklady na chromitovou směs jsou 32 Kč za kilogram. U filtrů se počítá s cenou za filtrační karusel 7000 Kč a za filtrační rošt 4000 Kč. Co se týče oprav svařováním, byla vyměřena cena podle podniku DSB na vyvaření 1kg kovu na 750 Kč.

Podle uvedených spotřeb chromitové směsi v tab. 5.3, počtu filtrů ve vtokové soustavě podle užitého filtru (obr. 5.2) a vypočtené spotřeby svařového kovu (tab. 6.4), lze sestavit tabulku 7.2 cenových nákladů.

Tab. 7.2 Cenové náklady [Kč]

	B1	B3	B4	B5	B8	B9	B10
chromit	8 000	11 200	11 200	27 200	8 000	8 000	8 000
filtry	14 000	14 000	0	0	14 000	16 000	16 000
oprava	32 580	15 015	24 338	27 180	19 965	18 593	21 390
celkem	54 580	40 215	35 538	54 380	41 965	42 593	45 390

V tabulce 7.2 jsou zahrnuty jen odlitky čistírensky zpracované ve slévárně DSB.

Z vypočtených nákladů podle výše uvedené metodiky lze vyčíst, že odlitky B3 a B4 se zvýšenou spotřebou chromitu se řadí mezi odlitky s nejmenšími náklady. Přičemž B4 jako nefiltrovaný odlitek má nižší náklady než odlitek B3, který byl filtrovaný. Oprava odlitku B3 však stála skoro o 10 000 Kč víc jak u B4. Vysoká spotřeba chromitu u odlitku B5 náklady výrazně zvyšuje. U tohoto odlitku není použita filtrace, přesto náklady na počítané položky jsou druhé největší. Odlitek B1 vykazuje v uvažovaných položkách nejvyšší náklady na opravy i celkově nejvyšší náklady. Příčinou vysokých nákladů je přerušované lití. Vliv přerušovaného lití na zvýšení nákladů na opravy lze odhadnout částkou 11500 Kč, která byla zjištěna jako rozdíl nákladů na opravy odlitku B1 a průměrných nákladů na opravy ostatních odlitků uvedených v tab. 7.2

Naproti tomu byly nákladově nejvyšší filtrované odlitky B1 a B10 s běžnou spotřebou chromitu. Náklady na jejich opravy zvedlo výrazně svařování vad. U těchto odlitků byla zaznamenána také dlouhá doba lití, která se projevuje na

rozsahu vad nepříznivě. Průměrný nákladový rozdíl mezi odlitky s nejnižšími náklady (B3,B4) a nejvyššími (B1,B10) je cca 12 000 Kč.

Potvrzuje se tak fakt, že dlouhá doba lití (nebo chyba při lití) se na konečných nákladech odlitku významně projevuje i za použití filtrace. Zvýšená spotřeba chromitové směsi se do konečných nákladů promítá příznivě. Použití filtrů z hlediska ekonomické výhodnosti není úplně zřejmé, ale oproti nefiltrovaným odlitkům mají při bezproblémovém lití menší podíl oprav. Pokud bychom uvažovali pracnost brusičů, dobu prohlížení na defektoskopii a dobu při opravách na svařování a drážkování, tak rychlejší průběh zakázky je za použití filtrace, než při její absenci.

8. NÁVRH NÁPRAVNÝCH OPATŘENÍ

Z výsledků a sledování procesu výroby lze navrhnout následující opatření:

- 1.) Věnovat větší pozornosti při výrobě a skládání forem a zabránit tak přerušení lití z důvodu úniku kovu z formy.
- 2.) Odzkoušet filtry také od jiných výrobců, jelikož se objevily závady na filtraci. Filtr nesmí způsobit přerušení nebo prodloužení doby lití. Přínosy použití filtrace doporučuji detailně ekonomicky zhodnotit. Jestliže se zvýšila doba lití nebo bylo lití přerušeno, byl výskyt vad větší než u nefiltrovaných odlitků. 3. skupina odlitků byla filtrována.
- 3.) Vady typu odvařeniny od chladítek lze řešit způsobem sušení a odstátí forem. Výsledky u technologie s použitím generátoru teplého vzduchu (kamen) nejsou přesvědčivé.
- 4.) Při výrobě kovu lze doporučit zvýšení obsahu hliníku na hodnoty 0,030% až 0,040 % Al, tj. 0,025 až 0,030 % Al_{r.k.}. Výsledky analýz hliníku provedené ve slévárně DSB EURO s.r.o. významně liší od výsledků z laboratoře ŽĐAS a.s.
- 5.) Dá se doporučit sledovat vliv vyšší odpichové teploty cca o 20°C, zejména tehdy, kdy je použito filtrů. U odlitku B7, kde byla teplota lití 1575°C, byl největší výskyt vad. Dále je možno sledovat dobu manipulace s kovem od vylití z pece do doby nájezdu nad výlevku, protože teplota licí je měřena po argonování taveniny. Tudíž, než se začne kov lít do formy, může teplota klesnout pod předepsanou hodnotu 1560°C.
- 6.) Zabývat se příčinou výskytu trhlin u odlitků. Řešením může být snížení odporů formy či jádra. Odlehčením jádra lze odstranit masivní trhliny z vnitřní strany odlitku, které byly odhaleny hned po vytlučení a podílely se významně na objemu vydrážkovaných vad. Dále je možné změnit chemické složení oceli či zavést konstrukční prvky jako jsou výztužná žebra, radiusy, popř. optimalizace umístění chladítek.
- 7.) Popsanou metodiku sledování vlivu technologických parametrů na rozsah vad použít na větším souboru odlitků tak, aby bylo možné soubory statisticky vyhodnotit.

9. SHRnutí A Závěr

- 1.) Cílem práce bylo ověřit možnosti sledování technologických parametrů a určení jejich vlivu na rozsah vad v armaturních odlitcích. Lze konstatovat, že uvedeného cíle bylo dosaženo. Byl navržen způsob kvantifikace vyskytujících se vad měřením jejich plochy, objemů vydrážkovaného kovu a spotřebou přídavného materiálu při opravách vad svařováním. Vady byly určeny a zařazeny do skupin podle normy [1].
- 2.) Nejvýznamnější vady byly zařazeny do skupiny trhliny. Podíl trhlin u některých odlitků činil více než 50% z celkového objemu opravovaných vad. Lze doporučit další výzkum rozšířit na opatření, která zmenší rozsah vznikajících trhlin.
- 3.) Významný podíl vad (odvařeniny od chladítek, zvrásněný povrch, zapečeniny aj.) lze snížit jednoduchými technologickými opatřeními a pečlivostí při výrobě forem a zpracováním kovu.
- 4.) Byla zavedena technologie zvýšeného podílu chromitového ostřiva. Její dopady se sledují a budou porovnávány ekonomicky.
- 5.) Byla odhalena technická závada na dodaných kazetových filtrech. Ihned byla řešena náprava, změna v použitých filtrech již nezasáhla do sledování výroby série odlitků. Její účinnost a ekonomická výhodnost bude nadále pozorována a vyhodnocena.
- 6.) Lze doporučit sledovat nadále výrobu armaturních výrobků geometricky podobných, data evidovat a statisticky hodnotit.

10. SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] ELBEL, T. a kol.: *Vady odlitků ze slitin železa*. 1. vyd. Brno: MATECS, 1992.
- [2] ŠENBERGER, J., a kol.: *Metalurgie ocelí na odlitky*. 1. vyd. Brno: VUT v Brně - Nakladatelství VUTIUM, 2008. 311 s. ISBN 987-80-214-3632-9.4
- [3] Informační systém výzkumu a vývoje, Projekt FT-TA5/089 - *Výzkum a vývoj nové technologie odlévání železa (2008-2010, MPO/FT)* [online], dostupné z world wide web:
< <http://aplikace.isvav.cvut.cz/projectDetail.do?rowId=FT-TA5%2F089>>.
- [4] Gussfehler – Atlas, Band 1, 2, Giesserei – Verlag GmbH, Düsseldorf, 1995.
- [5] HÉNON, G. et. al.: *Recherche de la qualité des pieces de fonderie*. Editions techniques des Industries de la Fonderie, Paris, 1971.
- [6] ČSN 42 1240 – 64. *Vady odlitků*. Názvosloví a třídění vad.1965
- [7] ELBEL, T.: Návrh nové klasifikace vad odlitků. In: *Slévárenská ročenka 1993*, s. 54-69.
- [8] Slévárenská ročenka 2001. 1. vyd. Brno: Česká slévárenská společnost, 2001. 184 s. ISBN 80-238-6529-3.
- [9] ELBEL, T.: Identifikace vad odlitků a příčin jejich vzniku. *Slévárenství*, roč. 49, 2001, č. 9, s. 539–543.
- [10] ELBEL, T. - MOUDRÝ, L.: Správná identifikace vad odlitků – klíč ke zvyšování jakosti a snižování nákladů ve slévárně. In: *Sborník ze semináře Vady odlitků IV*, Kopřivnice, 2000 s.2/1 až 2/5
- [11] ROUS, J. a kol.: Reoxidační pochody v dutině formy. *Slévárenství*, roč. 39, č. 1–2, 1991 s. 33–41.
- [12] STRÁNSKÝ, K.: Bubliny a bodliny v odlitcích. *Slévárenství*, roč. 45, č. 6, 1997 s. 225–232.
- [13] JELÍNEK, P. – RUSÍN, K.: Vady povrchu odlitků. *Slévárenství*, roč. 45, č. 5, 1997 s. 185-195.
- [14] ELBEL, T. - ŠENBERGER, J. - KOCIÁN, L. - ZÁDĚRA, A.: Studium reoxidace kovu ve slévárenské formě. *Slévárenství*, roč. 54, č. 10–11, 2006, s. 394–399.

- [15] ZÁDĚRA, A., ŠENBERGER, J.: Dezoxidace oceli a reoxidační pochody. In *Výroba a vlastnosti oceli na odlitky a litiny s kuličkovým grafitem*, 13.–15. září 2006, Svratka, Česká republika, s. 41–45, ISBN 80-02-01848-6.
- [16] KOTÁSEK, P.: *Reoxidační pochody v ocelích*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2009. 72 s. Vedoucí diplomové práce doc. Ing. Jaroslav Šenberger, CSc.
- [17] ZÁDĚRA, A., ŠENBERGER, J., VAVRINEC, P., VESELÝ, P., BŘINČIL, T.: *Reoxidační pochody při odlévání a vznik některých vad u odlitků z oceli*. In. Sborník vědeckých prací Vysoké školy báňské – Technické univerzity Ostrava, řada hutnická, č.1, roč. L, 2007, s. 261-268, ISSN 1210 – 0471.
- [18] ZÁDĚRA, A., ŠENBERGER, J.: *Vnitřní a povrchové vady ocelových odlitků*. In *Výroba a vlastnosti oceli na odlitky a litiny s kuličkovým grafitem*, 8.–10. října 2008, Svratka, Česká republika, s. 108–117, ISBN 80-02-01848-6.

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

Zkratka/Symbol	Jednotka	Popis
ASTM		Normy ASTM - American Society For Testing And Materials
Al _{r.k.}	[hmot.%]	Hliník rozpustný v kyselině
a _O		Aktivita kyslíku
CIATF		Internacional Committée of Foundry Technical Association
ČSN		Československá norma
Fe-δ		Tuhá fáze delta ferit
k _H ^{Fe-δ/L}		rozdělovací koeficient pro delta ferit/tavenina
m _{sk}	[kg]	Hmotnost svarového kovu
p	[MPa]	Tlak
R	[J.mol ⁻¹ .K ⁻¹]	Univerzální plynová konstanta
R		Korelační koeficient
REM		Rastrovací elektronový mikroskop
RTG		Rentgen
SQC		Statistical Quality Control-statistická kontrola jakosti
T	[K]	Termodynamická teplota
TSO		Termosonda
V	[m ³]	Objem
V _V	[dm ³]	Objem vady
ΔAl _c		Změna koncentrace hliníku celkového
ΔSi		Změna koncentrace křemíku
μ		využitelnost
ρ _{Fe}	[kg.dm ⁻³]	Hustota slitiny železa

SEZNAM PŘÍLOH:

1. Chemické složení jednotlivých taveb (DSB)
2. Chemické složení přilítých vzorků a tavebního vzorku (ŽŽAS)

PŘÍLOHY:

Příloha 1- Chemické složení jednotlivých taveb (DSB)

Odl./č.tav.	zkoušky	%C	%Mn	%Si	%P	%S	%Cr	%Ni	%Cu	%Al
B1 1/7233	A	0,518	0,440	0,133	0,028	0,023	0,173	0,088	0,195	0,074
	B	0,102	0,183	0,000	0,012	0,018	0,113	0,087	0,178	0,120
	C	0,153	0,714	0,219	0,020	0,018	0,126	0,090	0,178	0,025
	H	0,190	1,131	0,426	0,019	0,010	0,132	0,092	0,176	0,043
B2 1/7234	A	0,591	0,495	0,131	0,024	0,016	0,125	0,051	0,117	0,236
	B	0,064	0,236	0,000	0,015	0,017	0,079	0,061	0,117	0,204
	C	0,170	0,854	0,202	0,019	0,015	0,095	0,058	0,117	0,021
	H	0,194	1,049	0,461	0,025	0,010	0,101	0,060	0,115	0,040
B3 2/6816	A	0,538	0,572	1,101	0,023	0,010	0,102	0,030	0,056	0,797
	B	0,128	0,339	0,068	0,028	0,014	0,214	0,034	0,054	0,805
	C	0,149	0,779	0,235	0,025	0,012	0,215	0,034	0,054	0,022
	H	0,195	1,082	0,441	0,023	0,008	0,234	0,036	0,056	0,038
B4 2/6817	A	0,599	0,500	1,210	0,023	0,011	0,078	0,035	0,049	1,025
	B	0,283	0,176	0,107	0,022	0,012	0,184	0,034	0,050	0,603
	C	0,104	0,559	0,227	0,026	0,013	0,213	0,035	0,052	0,026
	H	0,195	1,149	0,410	0,024	0,011	0,239	0,034	0,054	0,029
B5 2/6830	A	0,559	0,625	0,543	0,022	0,013	0,099	0,030	0,048	0,201
	B	0,175	0,187	0,000	0,014	0,013	0,077	0,029	0,048	0,103
	C	0,200	0,837	0,228	0,022	0,013	0,088	0,030	0,048	0,023
	H	0,195	1,074	0,423	0,019	0,008	0,126	0,035	0,050	0,034
B6 2/6831	A	0,435	0,420	0,468	0,020	0,012	0,052	0,023	0,038	0,076
	B	0,077	0,149	0,004	0,019	0,015	0,049	0,027	0,037	0,436
	C	0,159	0,962	0,243	0,020	0,013	0,053	0,023	0,038	0,026
	H	0,190	1,132	0,506	0,020	0,007	0,055	0,026	0,039	0,038
B7 1/7266	A	0,422	0,458	0,051	0,016	0,013	0,090	0,045	0,051	0,798
	B	0,105	0,253	0,009	0,010	0,014	0,070	0,043	0,050	1,093
	C	0,179	0,954	0,148	0,018	0,014	0,080	0,055	0,054	0,011
	H	0,161	1,141	0,344	0,017	0,009	0,089	0,045	0,053	0,032
B8 2/6848	A	0,608	0,698	0,139	0,033	0,019	0,122	0,044	0,094	0,134
	B	0,164	0,392	0,006	0,020	0,017	0,112	0,040	0,090	1,142
	C	0,185	0,863	0,224	0,023	0,018	0,119	0,044	0,092	0,022
	H	0,195	1,156	0,519	0,023	0,011	0,129	0,045	0,094	0,036
B9 2/6852	A	0,416	0,572	0,054	0,022	0,019	0,012	0,065	0,090	0,118
	B	0,072	0,242	0,000	0,012	0,015	0,081	0,058	0,089	0,365
	C	0,172	1,074	0,210	0,017	0,013	0,090	0,060	0,086	0,016
	H	0,188	1,072	0,315	0,019	0,009	0,111	0,063	0,087	0,026
B10 2/6864	A	0,488	0,358	0,050	0,029	0,019	0,085	0,061	0,077	0,840
	B	0,104	0,173	0,003	0,012	0,015	0,053	0,066	0,078	0,583
	C	0,200	0,952	0,173	0,020	0,013	0,067	0,068	0,080	0,016
	H	0,185	1,091	0,352	0,019	0,011	0,105	0,066	0,083	0,036

Příloha 2 - Chemické složení přilítých vzorků a tavebního vzorku (ŽĐAS)

	č. zkoušky	%C	%Mn	%Si	%P	%S	%Cr	%Ni	%Cu	%Al	%Al _{r.k.}
B1	1/1	0,19	1,17	0,39	0,014	0,008	0,11	0,07	0,12	0,033	0,030
	1/2	0,20	1,16	0,38	0,013	0,008	0,15	0,10	0,18	0,350	0,030
	1/3	0,19	1,15	0,38	0,012	0,009	0,14	0,09	0,18	0,370	0,033
	1 (1/7233)	0,19	1,16	0,39	0,013	0,008	0,15	0,09	0,18	0,036	0,031
B2	2/1	0,18	1,16	0,38	0,012	0,009	0,14	0,09	0,18	0,039	0,035
	2/2	0,20	1,16	0,39	0,014	0,008	0,11	0,07	0,12	0,032	0,027
	2/3	0,20	1,15	0,38	0,013	0,008	0,11	0,07	0,12	0,031	0,026
	2 (1/7234)	0,18	1,13	0,43	0,012	0,007	0,11	0,06	0,11	0,036	0,030
B3	3/1	0,21	1,13	0,42	0,022	0,007	0,25	0,04	0,06	0,032	0,028
	3/2	0,22	1,10	0,41	0,022	0,007	0,25	0,04	0,05	0,027	0,022
	3/3	0,21	1,09	0,40	0,021	0,006	0,24	0,04	0,06	0,028	0,024
	3 (2/6816)	0,19	1,12	0,46	0,019	0,005	0,25	0,04	0,06	0,035	0,030
B4	4/1	0,21	1,18	0,40	0,023	0,009	0,25	0,04	0,05	0,019	0,014
	4/2	0,21	1,17	0,40	0,023	0,010	0,25	0,04	0,05	0,018	0,013
	4/3	0,21	1,17	0,40	0,023	0,010	0,25	0,04	0,05	0,018	0,013
	4 (2/6817)	0,21	1,17	0,40	0,024	0,010	0,25	0,04	0,05	0,019	0,014
B5	5/1	0,21	1,17	0,37	0,015	0,006	0,12	0,04	0,05	0,027	0,022
	5/2	0,22	1,17	0,39	0,015	0,006	0,14	0,04	0,05	0,026	0,021
	5/3	0,20	1,16	0,38	0,015	0,006	0,12	0,04	0,05	0,026	0,021
	5 (2/6830)	0,21	1,14	0,38	0,015	0,006	0,14	0,04	0,05	0,024	0,020
B6	6/1	0,21	1,20	0,47	0,016	0,007	0,06	0,04	0,04	0,032	0,028
	6/2	0,21	1,17	0,46	0,015	0,006	0,06	0,03	0,04	0,028	0,023
	6/3	0,22	1,17	0,46	0,015	0,006	0,06	0,03	0,04	0,029	0,025
	6 (2/6831)	0,20	1,16	0,46	0,015	0,006	0,06	0,03	0,04	0,029	0,025
B7	7/1	0,17	1,22	0,29	0,013	0,007	0,10	0,04	0,04	0,029	0,025
	7/2	0,18	1,19	0,28	0,013	0,007	0,10	0,04	0,05	0,024	0,019
	7/3	0,18	1,21	0,29	0,013	0,007	0,10	0,04	0,05	0,027	0,022
	7 (1/7266)	0,18	1,22	0,29	0,013	0,007	0,10	0,04	0,05	0,029	0,023
B8	8/1	0,21	1,22	0,47	0,019	0,010	0,15	0,06	0,10	0,036	0,030
	8/2	0,21	1,21	0,46	0,019	0,010	0,15	0,06	0,10	0,033	0,027
	8/3	0,21	1,22	0,47	0,019	0,010	0,15	0,06	0,10	0,032	0,027
	8(2/6848)	0,21	1,23	0,48	0,020	0,011	0,15	0,06	0,10	0,035	0,029
B9	9/1	0,20	1,21	0,26	0,012	0,008	0,12	0,07	0,09	0,019	0,014
	9/2	0,20	1,22	0,26	0,013	0,009	0,12	0,07	0,09	0,018	0,013
	9/3	0,20	1,20	0,26	0,120	0,008	0,12	0,07	0,09	0,017	0,011
	9(2/6852)	0,20	1,16	0,28	0,013	0,010	0,13	0,07	0,09	0,018	0,010
B10	10/1	0,21	1,23	0,29	0,014	0,009	0,12	0,08	0,09	0,033	0,027
	10/2	0,22	1,20	0,29	0,014	0,009	0,12	0,08	0,09	0,029	0,021
	10/3	0,21	1,22	0,29	0,014	0,008	0,11	0,08	0,09	0,034	0,027
	10(2/6864)	0,21	1,21	0,30	0,014	0,009	0,12	0,08	0,09	0,033	0,025